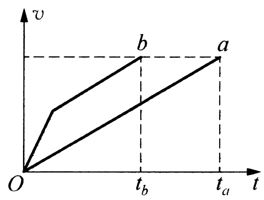
参考答案

专题一　力与直线运动

1. A

解析　在同一个 v-t 图象中作出 a、b 的速率-时间图线如图所示，由于开始运动时 b 的加速度较大，则斜率较大；由机械能守恒可知末速率相等，速度方向不同，故图线末端在同一水平线上，由于两斜面长度相同，则应使图线与 t 轴围成的“面积”相等。结合图中图线特点可知 b 用的时间较少，故选项 A 正确，B、C、D 错误。



第 1 题答图

2. B

解析　x-t 图象的斜率表示速度，则 t_1 时刻质点的速率为：$v=\dfrac{x_1-x_2}{t_1}$，故 A 错误，B 正确；根据图象可知，$t=0$ 时刻，初速度不为零，根据 $a=\dfrac{v-v_0}{t}$ 可知，加速度 $a=\dfrac{\dfrac{x_1-x_2}{t_1}-v_0}{t_1}\neq\dfrac{x_1-x_2}{t_1^2}$，故 C 错误；$0\sim t_1$ 时间内，质点的平均速度大小为：$\bar{v}=\dfrac{x_1}{t_1}$，故 D 错误。选 B。

点睛　本题主要考查了 x-t 图象的直接应用，要求能根据图象得出有效信息，知道 x-t 图象的斜率表示速度，据此求出 t_1 时刻的速度，根据图象可知，$t=0$ 时刻，初速度不为零，根据加速度的定义式求解加速度，平均速度等于位移除以时间。

3. (1) $F=100\ \text{N}$　(2) $2.5\ \text{m}$

解析　(1) 对箱子进行受力分析，由平衡方程得：$F\cos 53^\circ-\mu F_N=0$，$F_N+F\sin 53^\circ-mg=0$，联立解得：$F=100\ \text{N}$。

(2) 撤去拉力后，加速度 $a=\mu g=5\ \text{m/s}^2$，箱子停下来所需的时间为 $t=\dfrac{v}{t}=1\ \text{s}<1.5\ \text{s}$，故撤掉拉力 1.5 s 的时间内箱子的位移 $x=\dfrac{v^2}{2a}=2.5\ \text{m}$。

4. CD

解析　t_1 时刻两车位置相同，速度不相等，乙车速率大于甲车速率，选项 A 错误；从 0 到 t_1 时间内，乙车走过的路程大于甲车，选项 B 错误；从 t_1 到 t_2 时间内，两车都是从 x_1 位置走到 x_2 位置，走过的路程相等，选项 C 正确；根据图象斜率代表速度可知，从 t_1 到 t_2 时间内的某时刻，两车速度相等，选项 D 正确。故选 CD。

5. (1) $2\ \text{m/s}^2$　(2) $8.4\times10^6\ \text{W}$

解析　(1) 飞机滑跑过程中做初速度为零的匀加速直线运动，有：$v^2=2ax$①，代入数据解得：$a=2\ \text{m/s}^2$②

(2) 设飞机滑跑受到的阻力为 $F_{阻}$，根据题意有 $F_{阻}=0.1mg$③，设发动机的牵引力为 F，根据牛顿第二定律有：$F-F_{阻}=ma$④；设飞机滑跑过程中的平均速度为 $\bar{v}$，有：$\bar{v}=\dfrac{v}{2}$⑤，在滑跑阶段，牵引力的平均功率：$P=F\bar{v}$⑥，联立②③④⑤⑥式得：$P=8.4\times10^6\ \text{W}$。

6. (1) $\mu=\dfrac{v_0^2-v_1^2}{2gs_0}$　(2) $a_{\min}=\dfrac{s_1(v_0+v_1)^2}{2s_0^2}$

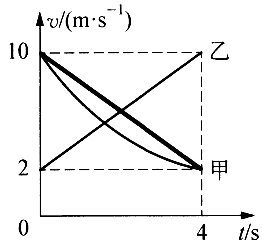
解析　(1) 设冰球质量为 m，对冰球从开始到到达挡板的过程应用动能定理，有：$-\mu mgs_0=\dfrac{1}{2}mv_1^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，得：$\mu=\dfrac{v_0^2-v_1^2}{2gs_0}$；

(2) 冰球从开始到挡板所用时间：$t_{球} = \frac{v_1 - v_0}{-\mu g} = \frac{2s_0}{v_0 + v_1}$，设运动员最小加速度为 a_{min}，则：$s_1 = \frac{1}{2}a_{min}t_{球}^2$，得：$a_{min} = \frac{s_1(v_0+v_1)^2}{2s_0^2}$。

7. 0 或 h　$\frac{gh}{2H-h}$

解析　从图可以看出力 F 是均匀减小的，可以得出力 F 随高度 x 的变化关系式：$F = F_0 - kx$，而 $k = \frac{F_0}{H}$，可以算出物体到达 h 处时力：$F = F_0 - \frac{F_0}{H}h$；物体从地面到 h 处的过程中，力 F 做正功，重力 G 做负功，由动能定理可得：$\bar{F}h = mgh$，而 $\bar{F} = \frac{F_0 + F}{2} = F_0 - \frac{F_0}{2H}h$，可得：$F_0 = \frac{2mgH}{2H-h}$。则物体在初位置加速度为 a：$F_0 - mg = ma$，计算得：$a = \frac{gh}{2H-h}$；当物体运动到 h 处时，加速度满足：$mg - F = ma'$，而 $F = \frac{2mgH}{2H-h} - \frac{2mgh}{2H-h}$，联立计算得：$a' = \frac{gh}{2H-h}$。综上：加速度最大时位置高度是 0 或 h 处，最大加速度为 $a = \frac{gh}{2H-h}$。

8. D



第 8 题答图

解析　由图可知，甲车做加速度减小的减速直线运动，乙车做匀加速直线运动，故选项 A 错误；开始时乙的速度小于甲的速度，由图形的"面积"代表位移可知，开始一段时间内乙车在甲车后方，但是在整个 4 s 内，通过面积分析可知乙车位移大于甲车位移，即乙车没有一直在甲车的后方，只是开始一段时间内是在甲车后方，后来乙车又超过了甲车，故选项 B 错误；速度相等之前甲、乙之间距离越来越大，速度相等之后距离先减少后增大，故速度相等时距离不一定最大；若甲车一直做匀减速直线运动，则图象如图粗线所示，则此时平均速度为 $\bar{v} = \frac{10+2}{2} \times 4\ \text{m/s} = 6\ \text{m/s}$，但是通过图形面积可知，甲车的实际位移小于匀减速的位移，故甲车实际的平均速度小于 6 m/s，故选项 D 正确，选 D。

点睛　在 v-t 图象中，图线与坐标轴围成的面积大小表示位移，平均速度等于位移除以时间，相遇时两车的位移相同，可根据以上知识来分析判断。

9. B

解析　设甲球下落 h_1 时速度为 v，之后运动 t 时间共同到达 B 点，根据题意得：$v^2 = 2gh_1$，$vt + \frac{1}{2}gt^2 + h_1 = \frac{1}{2}gt^2 + h_2$，联立解得：$t = \frac{h_2 - h_1}{\sqrt{2gh_1}}$，故总高度：$h = \frac{1}{2}gt^2 + h_2 = \frac{(h_1+h_2)^2}{4h_1}$，故选 B。

10. AC

解析　物体静止不动时，水平方向弹簧弹力和向左的静摩擦力二力平衡，有 $f_{静} = F_{弹} = 6\ \text{N}$；物体随小车一起向右加速，当静摩擦力为零时，有：$F_{弹} = ma_1$，解得：$a_1 = 0.75\ \text{m/s}^2$，C 选项正确；当向右的加速度大于 $0.75\ \text{m/s}^2$ 时，静摩擦力变成向右，当静摩擦力向右达到 6 N 时，有：$F_{弹} + f = ma_2$，解得：$a_2 = 1.5\ \text{m/s}^2$，方向向右，对 A 选项，由于最大加速度 $1\ \text{m/s}^2$ 小于 $1.5\ \text{m/s}^2$，故物体与小车始终保持相对静止，弹簧伸长量不变，故弹力不变，A 正确；对 B 选项，$0 < a < 0.75\ \text{m/s}^2$ 时，摩擦力向左，$0.75\ \text{m/s}^2 < a < 1\ \text{m/s}^2$，摩擦力向右，故当小车加速度（向右）由零逐渐增大到 $1\ \text{m/s}^2$ 过程中，物体所受的静摩擦力先向左减小到零后反向增加，选项 B 错误；当小车以 $a_3 = 1\ \text{m/s}^2$ 向右加速时，根据 $F_{弹} + f = ma_3$，知物体受到的摩擦力为 2 N，选项 D 错误。选 AC。

点睛　解题关键是要掌握静摩擦力会随运动状态变化而变化。先求出平衡状态下的静摩擦力，以及无摩擦力时和摩擦力向右达到 6 N 时的两个临界加速度，将实际加速度与临界加速度比较分析，从而确定摩

擦力的变化情况。

11. BC

解析 在 0～2 s 内物块做匀速直线运动，摩擦力大小为：$F_f = F_1 + F_2 = (8-5)\text{N} = 3\text{ N}$，则：$\mu = \frac{F_f}{mg} = \frac{3}{1\times 10} = 0.3$，选项 A 错误；2 s 后物块做匀减速直线运动，加速度 $a = \frac{F_合}{m} = \frac{6-5-3}{1}\text{ m/s}^2 = -2\text{ m/s}^2$，则经过 $t = \frac{0-v}{a} = 2\text{ s}$，即 4 s 末速度减为零，故 3 s 末物块受到的摩擦力大小为 3 N，4 s 末物块受到的摩擦力为静摩擦力，大小为 6 N－5 N＝1 N，选项 B、C 正确；物块停止后，因两个力的差值小于最大静摩擦力，则物块不再运动，则 5 s 末物块的加速度为零，选项 D 错误。选 BC。

12. D

解析 加速度变化率为 0 是指加速度保持不变，加速度保持为 0 时，物体静止或做匀速直线运动，如果加速度不为 0，则物体做变速运动，选项 A 错误；加速度的变化率越大，则加速度变化越快，选项 B 错误；若加速度与速度同向，则物体作加速运动，如图所示加速度减小，表明物体速度增加变得慢了，但仍是加速运动，选项 C 错误；根据 $v-t$ 图象可知，图中线与时间轴所围图形面积表示物体的位移，同理在 $a-t$ 图象中可知图线与时间轴所围图形的面积表示物体速度的变化量即 Δv，则得 0～2 s 内：$\Delta v = \frac{1}{2}\times 2\times 3\text{ m/s} = 3\text{ m/s}$。由于加速度与速度同向，故物体做变加速直线运动，已知初速度为 5 m/s，则小球在 2 s 末的速度为 8 m/s，选项 D 正确。故选 D。

点睛 解题关键是理解加速度的物理意义，知道在 $a-t$ 图象中图象与时间轴所围图形的面积表示物体速度的变化量，能理解物体做加速运动还是减速运动，是由加速度与速度方向关系决定而不是由加速度的变化大小来决定。

13. (1) 2∶1 (2) 22.5 m 11.25 m (3) 40 m

解析 (1) 此货车在超载及正常装载情况下刹车时间之比为：$t_1 : t_2 = \frac{v_0}{a_1} : \frac{v_0}{a_2} = 2:1$。

(2) 超载时，刹车距离 $x_1 = \frac{v_0^2}{2a_1} = \frac{15^2}{2\times 5}\text{ m} = 22.5\text{ m}$，正常装载时，刹车距离为：$x_2 = \frac{v_0^2}{2a_2} = \frac{15^2}{2\times 10}\text{ m} = 11.25\text{ m}$。

(3) 货车超载并超速情况下的刹车距离为：$x_3 = \frac{v_0'^2}{2a_1} = \frac{20^2}{2\times 5}\text{ m} = 40\text{ m}$。

14. C

解析 设匀加速的加速度 a，物体三个时刻的速度分别为 v_1、v_2 和 v_3，根据题意得：$v_2 - v_1 = v_3 - v_2 = \Delta v$，则：$v_3 - v_1 = 2\Delta v$，根据运动学公式可知：$v_2^2 - v_1^2 = 2ax_1$，得：$(v_2-v_1)(v_2+v_1) = 2ax_1$，即 $\Delta v(v_2+v_1) = 2ax_1$①，$v_3^2 - v_2^2 = 2ax_2$，得 $(v_2-v_1)(v_3+v_2) = 2ax_1$，即 $\Delta v(v_3+v_2) = 2ax_2$②，由①②式解得：$a = \frac{(\Delta v)^2}{x_2 - x_1}$，故 C 正确，ABD 错误。

15. $v_B = \sqrt{\left(3-\frac{1}{n}\right)as}$

解析 根据速度位移公式得：$2a\cdot\frac{s}{n} = v_1^2 - 0$，$2\left(a+\frac{a}{n}\right)\frac{s}{n} = v_2^2 - v_1^2$，$2\left(a+2\frac{a}{n}\right)\frac{s}{n} = v_3^2 - v_2^2$，…，$2\left[a+(n-1)\frac{a}{n}\right]\frac{s}{n} = v_B^2 - v_{n-1}^2$，将上述式子累加，解得：$v_B = \sqrt{\left(3-\frac{1}{n}\right)as}$。

点睛 本题考查了匀变速直线运动速度位移公式的基本运用，对数学能力要求较高，通过速度位移公式，累加计算进行求解。

16. (1) 4 s (2) $29\text{ m/s} < v_0' < 32\text{ m/s}$

解析 (1) 对管，根据牛顿第二定律有：$mg - F = ma$，得：$a = 2\text{ m/s}^2$。设经 t 时间，小球从 N 端穿出，以

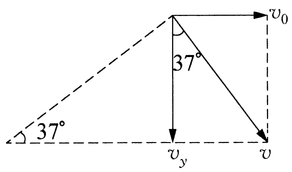
向下为正方向，小球下落的高度为 $h+L$，有：$h+L=-v_0t+\frac{1}{2}gt^2$，管下降的高度为：$h=\frac{1}{2}at^2$，联立解得：$t=4\ \text{s}$（$t=-1.5\ \text{s}$ 舍去）。

(2) 设小球初速度 v_0'，空管经 t' 时间到达地面，以向下为正方向，则：$H=\frac{1}{2}at'^2$，解得：$t'=8\ \text{s}$，小球在 t' 时间内下落高度为：$h'=-v_0't'+\frac{1}{2}gt'^2$，小球落入管内的条件是：$64\ \text{m}\leqslant h'\leqslant 88\ \text{m}$，解得：$32\ \text{m/s}\geqslant v_0'\geqslant 29\ \text{m/s}$。所以小球的初速度大小必须在 29 m/s 到 32 m/s 范围内。

专题二　力与曲线运动

1. (1) 7.5 m/s；(2) 12.5 rad/s

解析　(1) 水流做平抛运动，有：$h-R\sin 37°=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=\sqrt{\frac{2(h-R\sin 37°)}{g}}=1\ \text{s}$，所以 $v_y=gt=10\ \text{m/s}$，由图可知：$v_0=v_y\tan 37°=7.5\ \text{m/s}$。



第 1 题答图

(2) 由图可知：$v=\frac{v_0}{\sin 37°}=12.5\ \text{m/s}$，$\omega=\frac{v}{R}=12.5\ \text{rad/s}$。

点睛　通过审题，了解平抛运动的末速度正好与圆周相切，也是圆周的线速度。从几何关系求得平抛运动的竖直位移，得出运动时间。再结合速度分解计算各个速度。

2. A

解析　如果小球恰能过最高点 D，根据 $mg=m\frac{v_D^2}{R}$，得：$v_D=\sqrt{gR}$，根据 $R=\frac{1}{2}gt^2$ 得：$t=\sqrt{\frac{2R}{g}}$。水平位移：$x=v_Dt=\sqrt{2}R$，知小球一定落在水平面 AE 上，故 A 正确，B、C、D 错误。

3. AC

解析　根据平抛运动规律，小球在 C 点的竖直分速度 $v_y=gt=3\ \text{m/s}$，由几何关系知：$v_x=v_y\tan 45°=3\ \text{m/s}$，则 B 点与 C 点的水平距离为：$x=v_xt=0.9\ \text{m}$，竖直距离为：$h=\frac{1}{2}gt^2=0.45\ \text{m}$，选项 A 正确、B 错误；设小球经过管道的 B 点时受到管道的作用力方向竖直向上，由牛顿第二定律：$-F+mg=m\frac{v_B^2}{R}$，而 $v_B=v_x=3\ \text{m/s}$，代入数据解得：$F=1\ \text{N}$，则管道的作用力方向竖直向上，大小为 1 N，选项 C 正确、D 错误。故选 AC。

4. BD

解析　由 $v-t$ 图面积易知第二次面积大于等于第一次面积，故第二次竖直方向下落距离大于第一次下落距离，所以选项 A 错误；由于第二次竖直方向下落距离大，合位移方向不变，故第二次水平方向位移大，选项 B 正确；$v-t$ 图相应时刻的斜率第一次较第二次大，斜率越大，表示加速度越大，或由 $\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$，$\Delta v_1>\Delta v_2$，$t_1<t_2$，易知：$\bar{a}_1>\bar{a}_2$，故选项 C 错误；速度为 v_1 时，第一次图象陡峭，第二次图象相对平缓，故 $a_1>a_2$，由 $G-f_y=ma$，可知：$f_{y1}<f_{y2}$，故 D 正确。选 BD。

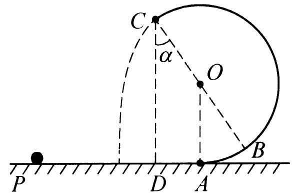
5. A

解析　$x_{\text{甲}}=vt_{\text{甲}}$，$y_{\text{甲}}=\frac{1}{2}gt_{\text{甲}}^2$，$\tan\theta=\frac{y}{x}$，联立得：$t_{\text{甲}}=\frac{2v\tan\theta}{g}$，同理可得：$t_{\text{乙}}=\frac{v\tan\theta}{g}$，所以 $t_{\text{甲}}=2t_{\text{乙}}$，根据 $v_y=gt$ 可知：$v_{y\text{甲}}=2v\tan\theta$，$v_{y\text{乙}}=v\tan\theta$，故 $v_{\text{甲}}=\sqrt{v^2+v_{y\text{甲}}^2}=v\sqrt{1+4(\tan\theta)^2}$，$v_{\text{乙}}=\sqrt{\left(\frac{v}{2}\right)^2+v_{y\text{乙}}^2}=v\sqrt{\frac{1}{4}+(\tan\theta)^2}$，可得：$\frac{v_{\text{甲}}}{v_{\text{乙}}}=2$。选 A。

6. AD

解析 加速度 $\omega=\frac{\theta}{t}=\frac{10\times\pi}{180\times10}=\frac{\pi}{180}$ rad/s < 1 rad/s，C 错误；运动路程 $s=vt=600$ m，A 正确；根据 $v=\omega r$，得 $r=\frac{v}{\omega}=3.4$ km，D 正确；$a=\omega^2 r=1.0\ \mathrm{m/s^2}$，B 错误。选 AD。

7. (1) $F_0=\frac{3}{4}mg$，$v=\frac{\sqrt{5gR}}{2}$；　(2) $p=mv_1=\frac{m\sqrt{23gR}}{2}$；　(3) $t=\frac{3}{5}\sqrt{\frac{5R}{g}}$。



第 7 题答图

解析 (1) 设水平恒力的大小为 F_0，小球到达 C 点时所受合力的大小为 F，由力的合成法则有：$\frac{F_0}{mg}=\tan\alpha$ ①，$F^2=(mg)^2+F_0^2$ ②，设小球到达 C 点时的速度大小为 v，由牛顿第二定律得：$F=m\frac{v^2}{R}$ ③，由①②③式和题给数据得：$F_0=\frac{3}{4}mg$ ④，$v=\frac{\sqrt{5gR}}{2}$ ⑤。

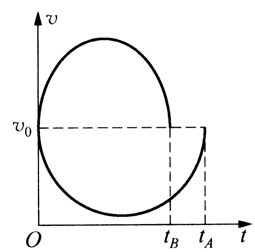
(2) 设小球到达 A 点的速度大小为 v_1，作 $CD\perp PA$，交 PA 于 D 点，由几何关系得：$DA=R\sin\alpha$ ⑥，$CD=R(1+\cos\alpha)$ ⑦，由动能定理有：$-mg\cdot CD-F_0\cdot DA=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_1^2$ ⑧，由④⑤⑥⑦⑧式和题给数据得，小球在 A 点的动量大小为：$p=mv_1=\frac{m\sqrt{23gR}}{2}$ ⑨。

(3) 小球离开 C 点后在竖直方向上做初速度不为零的匀加速运动，加速度大小为 g。设小球在竖直方向的初速度为 $v_\perp$，从 C 点落至水平轨道上所用时间为 t。由运动学公式有：$v_\perp t+\frac{1}{2}gt^2=CD$ ⑩，$v_\perp=v\sin\alpha$ ⑪，由⑤⑦⑩⑪式和题给数据得：$t=\frac{3}{5}\sqrt{\frac{5R}{g}}$ ⑫。

8. BD

解析 小球在最高点：$F+mg=m\frac{v^2}{l}$，解得：$F=m\frac{v^2}{l}-mg$，所以 A 错误；当 $F=0$ 时，$mg=m\frac{v^2}{l}$，解得：$g=\frac{v^2}{l}=\frac{b}{l}$，所以 B 正确；根据 $F=m\frac{v^2}{l}-mg$ 知，图线的斜率：$k=\frac{m}{l}$，绳长不变，用质量较小的球做实验，斜率更小，所以 C 错误；当 $F=0$ 时，$g=\frac{b}{l}$，可知 b 点的位置与小球的质量无关，绳长不变，用质量较小的球做实验，图线 b 点的位置不变，所以 D 正确。选 BD。

9. D



第 9 题答图

解析 由于两球在初始位置的机械能相等，且运动中机械能守恒，故两球在环形槽内的任何位置的机械能都相等，选项 C 错误；对小球 A，由机械能守恒定律可得：$\frac{1}{2}mv_0^2=mgR+\frac{1}{2}mv_A^2$，在最高点，由牛顿第二定律可得：$F_A+mg=m\frac{v_A^2}{R}$；对小球 B，由机械能守恒定律可得：$\frac{1}{2}mv_0^2=-mgR+\frac{1}{2}mv_B^2$，在最低点，由牛顿第二定律可得：$F_B-mg=m\frac{v_B^2}{R}$，联立可得：$\Delta F=F_B-F_A=6mg$，选项 D 正确；分别对两球受力分析，可知两球的重力在圆环切线方向的分力改变速度的大小，又因为两球从 P 点到 Q 点的路程相等，分别作出此过程中两小球沿切线方向的速率-时间图象，由图象可知小球 B 先到达 Q 点，故选项 B 错误；其相遇点在 Q 点的上方，由机械能守恒定律可知，两球第一次相遇时速度的大小相等，但方向不同，选项 A 错误。故选 D。

10. BD

解析 当转台的角速度比较小时，物块只受重力、支持力和摩擦力的作用，当细绳恰好要产生拉力时：$\mu mg = m\omega_1^2\left(l\sin\frac{\pi}{6}\right)$，解得 $\omega_1=\sqrt{\frac{2g}{3l}}$，由于 $\sqrt{\frac{g}{2l}}<\sqrt{\frac{2g}{3l}}$，所以当 $\omega=\sqrt{\frac{g}{2l}}$ 时，细线中张力为零，故 B 正确；随速度的增大，细绳上的拉力增大，当物块恰好要离开转台时，物块只受到重力和细绳的拉力的作用，则：$mg\tan\frac{\pi}{6}=m\omega_2^2\left(l\sin\frac{\pi}{6}\right)$ 解得：$\omega_1=\sqrt{\frac{2\sqrt{3}g}{3l}}$，由于 $\omega_1<\sqrt{\frac{3g}{4l}}<\omega_2$，所以当 $\omega=\sqrt{\frac{3g}{4l}}$ 时，物块与转台间的摩擦力不为零，故 A 错误；由于 $\omega_1<\sqrt{\frac{g}{l}}<\omega_2$，由牛顿第二定律：$f+F\sin\frac{\pi}{6}=m\left(\sqrt{\frac{g}{l}}\right)^2 l\sin\frac{\pi}{6}$，因为压力小于 mg，所以 $f<\frac{1}{3}mg$，解得：$F>\frac{1}{3}mg$，故 C 错误；当 $\omega=\sqrt{\frac{4g}{3l}}>\omega_2$ 时，小球已经离开转台，细绳的拉力与重力的合力提供向心力，则 $mg\tan\alpha=m\left(\sqrt{\frac{4g}{3l}}\right)^2(l\sin\alpha)$；解得：$\cos\alpha=\frac{3}{4}$，故 $F=\frac{mg}{\cos\alpha}=\frac{4}{3}mg$，故 D 正确，故选 BD。

11. BCD

解析 小球过 C 点时满足：$F+mg=m\frac{v_C^2}{r}$，又根据：$mg(H-2r)=\frac{1}{2}mv_C^2$，联立解得：$F=\frac{2mg}{r}H-5mg$。由题图可知：$H_1=0.5\ \text{m}$ 时 $F_1=0$；$H_2=1.0\ \text{m}$ 时 $F_2=5\ \text{N}$，代入可解得：$g=5\ \text{m/s}^2$，$r=0.2\ \text{m}$，选项 B、C 正确，A 错误；根据：$m\frac{v^2}{R}=mg$，可得：$v=\sqrt{gR}=5\times10^3\ \text{m/s}$。故星球的第一宇宙速度为 $5\times10^3\ \text{m/s}$，选项 D 正确。选 BCD。

点睛 小球从 A 到 C 运动的过程中，只有重力做功，机械能守恒，根据机械能守恒定律和牛顿第二定律求出小球对轨道 C 点的压力与 H 的关系式，然后结合 $F-H$ 图线求出圆轨道的半径和星球表面的重力加速度。第一宇宙速度与贴着星球表面做匀速圆周运动的卫星线速度相等，根据万有引力等于重力求出该星球的第一宇宙速度。

12. (1) F，方向竖直向下 (2) 压力之差为 $6mg$ (3) $\left(\frac{F'}{mg}\right)_{\min}=5$。

解析 (1) 设轨道在 A 点对质点向上的弹力大小为 F_{NA}，有：$F+mg-F_{NA}=m\frac{v_A^2}{R}$ ①，代入数据得：$F_{NA}=F$，由牛顿第三定律知质点在 A 点对轨道弹力：$F'_{NA}=F_{NA}=F$ ②，大小为 F，方向竖直向下。

(2) 在 B 处：$F-mg-F_{NB}=m\frac{v_B^2}{R}$ ③，质点在 B 点对轨道弹力：$F'_{NB}=F_{NB}$ ④，由 A 到 B 过程：$mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$ ⑤，联立①②③④⑤得：$F'_{NA}-F'_{NB}=6mg$，为定值。

(3) 要做完整圆周运动，质点在 B 点不脱轨即可。当 $v_A=0$ 时，到达 B 处速度最小，有：$mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_B^2-0$，设磁性力为 F'，在 B 处：$F'-mg-F_{NB}=m\frac{v_B^2}{R}$，所以：$F'=5mg+F_{NB}$，当 $F_{NB}=0$ 时，磁性引力最小，故：$\left(\frac{F'}{mg}\right)_{\min}=5$。

13. AC

解析 小球做匀速圆周运动，在竖直方向上的合力为零，水平方向上的合力提供向心力，所以 a 绳在竖直方向上的分力大小与重力大小相等，可知 a 绳的张力不可能为零，故 A 正确；根据竖直方向上力的平衡得：$F_a\sin\theta=mg$，解得：$F_a=\frac{mg}{\sin\theta}$，可知 a 绳的拉力不变，故 B 错误；当 b 绳拉力为零时，有：$\frac{mg}{\tan\theta}=ml\omega^2$，解得：$\omega^2=\frac{g}{l\tan\theta}$，当角速度 $\omega^2>\frac{g}{l\tan\theta}$ 即：$\omega>\sqrt{\frac{g\cot\theta}{l}}$ 时，b 绳将出现弹力，故 C 正确；由于 b 绳可能没

有弹力，故 b 绳突然被剪断，a 绳的弹力可能不变，故 D 错误。选 AC。

点睛 解题关键是分析小球做圆周运动向心力来源，以及小球竖直方向合力一直为零。

14. $v_0 \leqslant 2\sqrt{2gR}$ 或 $v_0 \geqslant 2\sqrt{5gR}$

解析 设 A、B 碰撞后的速度为 v_1，恰好运动到圆弧最高点时的速度为 v_2，对 A、B，碰撞过程中动量守恒，由动量守恒定律得 $mv_0 = 2mv_1$ ①，欲使 A、B 运动时不脱离圆弧轨道，有两种可能：

(1) 当 v_0 较小时，A、B 最高只能到与圆心等高的地方，对 A、B 从碰后到与圆心等高的地方由动能定理：$-2mgR = 0 - \frac{1}{2} \cdot 2mv_1^2$ ②，联立①②式得：$v_0 = 2\sqrt{2gR}$。

(2) 当 v_0 较大时，A、B 能够做完整的圆周运动。讨论 A、B 恰好做完整圆周运动时的情形，对 A、B，从碰后运动到圆周最高点的过程中，由动能定理：$-2mg \cdot 2R = \frac{1}{2}2mv_2^2 - \frac{1}{2}2mv_1^2$，在最高点时，由牛顿第二定律得 $2mg = 2m\frac{v_2^2}{R}$，联立得：$v_0 = 2\sqrt{5gR}$。综上所述，当 $v_0 \leqslant 2\sqrt{2gR}$ 或 $v_0 \geqslant 2\sqrt{5gR}$ 时，两小球在圆弧轨道内运动时不会脱离圆弧轨道。

专题三　多过程的物体运动

1. (1) 6 J　(2) $\sqrt{10}$ m/s　(3) $\frac{13}{3}$ m

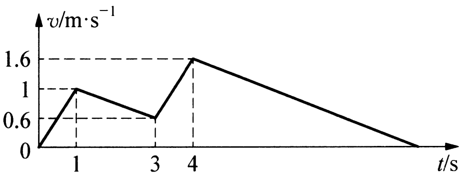
解析 (1) $f = \mu mg\cos\theta = 0.5 \times 2 \times 10 \times \cos 53° = 6$ N，$W_{f克} = \frac{fh}{\sin 53°} = 6$ J。

(2) 利用动能定理：$mgh - W_{f克} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$，解得：$v = \sqrt{10}$ m/s。

(3) 分析可知，物块最终将静止在 O 点。小物块第一次经过 O 点到最终静止在 O 点的过程中，由动能定理得：$-\mu mgs\cos\theta = -\frac{1}{2}mv^2$，$s = \frac{5}{3}$ m，$s_{总} = \frac{h}{\sin 53°} + 2s = \frac{13}{3}$ m。

2. (1) 1 m/s　(2) 6.4 m

解析 (1) 运动员站在雪道上第一次利用滑雪杖对雪面作用时，加速度为：$a_1 = \frac{F-f}{m} = 1$ m/s^2，$t_1 = 1$ s 时的速度为：$v_1 = a_1t_1 = 1 \times 1$ m/s $= 1$ m/s。



第 2 题答图

(2) 解法一：第一次撤除水平推力 F 后，加速度为：$a_2 = -\frac{f}{m} = -0.2$ m/s^2，撤除水平推力 F 后经过 $t_2 = 2$ s，速度为：$v_1' = v_1 + a_2t_2 = (1 - 0.2 \times 2)$ m/s $= 0.6$ m/s，第二次刚撤除水平推力 F 时，速度为：$v_2 = v_1' + a_1t_1 = (0.6 + 1 \times 1)$ m/s $= 1.6$ m/s，此后在水平方向仅受摩擦力作用做匀减速运动，滑行的最大距离为：$s = \frac{0 - v_0^2}{2a_2} = \frac{0 - 1.6^2}{-0.4}$ m $= 6.4$ m。

解法二：对整个运动过程，根据动量定理：$F \cdot 2t_1 - f(2t_1 + t_2) = mv_2$，设运动员第二次撤除水平推力后滑行的最大距离为 s，根据动能定理 $fs = \frac{1}{2}mv_2^2$，联立以上两式解得：$s = 6.4$ m。

解法三：作出 v-t 图象如图，利用图象与横轴所围面积求解(略)。

3. BC

解析 A 选项：物块由静止释放到 O 点的过程，甲做匀加速直线运动，甲接触弹簧后，由于弹力是变力，且弹力逐渐增大，所以甲先做变加速运动，后做减速运动，直到速度减为零，故 A 错误。B 选项：物块甲在与弹簧接触前，根据牛顿第二定律，对于甲有：$4mg\sin\theta - \mu \cdot 4mg\cos\theta - T = 4ma$，对于乙有：$T - mg = ma$，联立解得 $a = 0.5$ m/s^2，故 B 正确。C、D 选项：物块甲位于 N 点时，由能量守恒可知，弹簧所储存的弹性势

能的最大值为：$E_{pm}=4mg\sin\theta\cdot\frac{3}{2}L-\mu\cdot 4mg\cos\theta\cdot\frac{3}{2}L-mg\cdot\frac{3}{2}L=\frac{3}{8}mgL$，故C正确、D错误。故选BC。

4. (1) $t=0.6\ \text{s}$ (2) $v=2\ \text{m/s}$ (3) $H=0.6\ \text{m}$

解析 (1) B从释放到细绳刚绷直前做自由落体运动，有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，解得 $t=0.6\ \text{s}$。

(2) 设细绳绷直前瞬间B速度大小为v_0，有：$v_0=gt=6\ \text{m/s}$，细绳绷直瞬间，细绳张力远大于A、B的重力，A、B相互作用，总动量守恒：$m_Bv_0=(m_A+m_B)v$，可得绳子绷直瞬间A、B系统获得的速度：$v=2\ \text{m/s}$，之后由于$m_A>m_B$，A将做匀减速运动，所以细绳绷直瞬间的速度v即为最大速度，A的最大速度为$2\ \text{m/s}$。

(3) 细绳绷直后，A、B一起做减速运动，B恰好可以和地面接触，说明此时A、B的速度为零，这一过程中A、B组成的系统机械能守恒，有：$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+m_BgH=m_AgH$，解得初始时$B$离地的高度为：$H=0.6\ \text{m}$。

点睛 本题既涉及自由落体运动，又要应用动量守恒定律和机械能守恒定律。要正确理解“恰好可以和地面接触”的真正含义。

5. (1) $5\ \text{m/s}^2$ 方向沿制动坡床向下 (2) 98 m

解析 (1) 设货物的质量为m，货物与车厢间的动摩擦因数$\mu=0.4$，货物在车厢内滑动过程中，受到的摩擦力大小为f，加速度大小为a_1，则：$f+mg\sin\theta=ma_1$ ①，$f=\mu mg\cos\theta$ ②，联立①②式并代入数据得$a_1=5\ \text{m/s}^2$ ③，a_1的方向沿制动坡床向下。

(2) 设货车的质量为M，车尾位于制动坡床底端时的车速为$v=23\ \text{m/s}$。货物在车厢内开始滑动到车头距制动坡床顶端$s_0=38\ \text{m}$的过程中，用时为t，货物相对制动坡床的运动距离为s_1，在车厢内滑动的距离$s=4\ \text{m}$，货车的加速度大小为a_2，货车相对制动坡床的运动距离为s_2。货车受到制动坡床的阻力大小为F，F是货车和货物总重的k倍，$k=0.44$，货车长度$l_0=12\ \text{m}$，制动坡床的长度为l，则：$Mg\sin\theta+F-f=Ma_2$ ④，$F=k(m+M)g$ ⑤，$s_1=vt-\frac{1}{2}a_1t^2$ ⑥，$s_2=vt-\frac{1}{2}a_2t^2$ ⑦，$s=s_1-s_2$ ⑧，$l=l_0+s_0+s_2$ ⑨，联立①②④～⑨式并代入数据得：$l=98\ \text{m}$。

点睛 此题依据高速公路的避险车道，考查了牛顿第二定律与运动学公式的综合应用，涉及两个研究对象的多个研究过程，属于板块模型。解题关键是弄清物理过程，建立空间位置关系，分析货物和车的受力情况求解加速度，然后选择合适的物理过程研究解答。此题属于中等难度题目。

6. (1) $\sqrt{6gl}$ $2\sqrt{2}l$ (2) $\frac{5}{3}m\leqslant M<\frac{5}{2}m$

解析 (1) 依题意，当弹簧竖直放置，长度被压缩至l时，质量为$5m$的物体的动能为零，其重力势能转化为弹簧的弹性势能。由机械能守恒定律知，弹簧长度为l时的弹性势能：$E_p=5mgl$ ①。设P的质量为M，到达B点时的速度大小为v_B，由能量守恒定律得：$E_p=\frac{1}{2}Mv_B^2+\mu Mg\cdot 4l$ ②，联立①②式，取$M=m$并代入题给数据得：$v_B=\sqrt{6gl}$ ③，若P能沿圆轨道运动到D点，其到达D点时的向心力不能小于重力，即P此时的速度大小v应满足：$\frac{mv^2}{l}-mg\geqslant 0$ ④，设P滑到D点时的速度为v_D，由机械能守恒定律得：$\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_D^2+mg\cdot 2l$ ⑤，联立③⑤式得：$v_D=\sqrt{2gl}$ ⑥，v_D满足④式要求，故能运动到D点，并从D点以速度v_D水平射出。设P落回到轨道AB所需的时间为t；由运动学公式得：$2l=\frac{1}{2}gt^2$ ⑦，P落回到AB上的位置与B点之间的距离为$s=v_Dt$ ⑧，联立⑥⑦⑧式得：$s=2\sqrt{2}l$ ⑨。

(2) 为使P能滑上圆轨道，它到达B点时的速度不能小于零。由①②式可知：$E_p=5mgl>\mu Mg\cdot 4l$ ⑩，

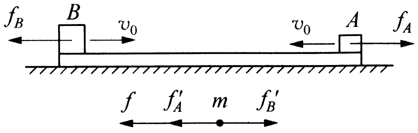
要使 P 仍能沿圆轨道滑回，P 在圆轨道上的上升高度不能超过半圆轨道的中点 C。由机由械能守恒定律有：$\frac{1}{2}Mv_B^2 \leqslant Mgl$ ⑪，联立①②⑩⑪式得：$\frac{5}{3}m \leqslant M < \frac{5}{2}m$。

7. (1) $v_1 = 1\ \text{m/s}$　方向：水平向右　(2) $1.9\ \text{m}$

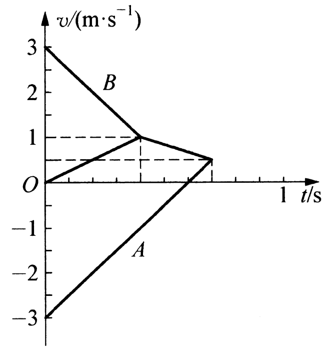
解析　(1) 如答图甲所示，对 A、B 和木板做受力分析，其中 f_A、f_B 分别表示物块 A、B 受木板摩擦力的大小，f_A'、f_B' 和 f 分别表示木板受到物块 A、B 及地面的摩擦力大小，设运动过程中 A、B 及木板的加速度大小分别为 a_A，a_B 和 a，根据牛顿运动定律得：$f_A = m_Aa_A$ ①，$f_B = m_Ba_B$ ②，$f_B' - f_A' - f = ma$ ③，且：$f_A = f_A' = \mu_1 m_A g$ ④，$f_B = f_B' = \mu_1 m_B g$ ⑤，$f = \mu(m_A + m_B + m)g$ ⑥，联立①～⑥式解得：$a_A = 5\ \text{m/s}^2$，$a_B = 5\ \text{m/s}^2$，$a = 2.5\ \text{m/s}^2$。故可得 B 向右做匀减速直线运动，A 向左做匀减速直线运动，木板向右做匀加速运动；且 $a_B = a_A > a$，显然经历一段时间 t_1 之后 B 先与木板达到相对静止状态，且此时 A、B 速度大小相等，方向相反。假设此时 B 与木板的速度大小为 v_1，则：$v_1 = v_0 - a_At_1$ ⑦，$v_1 = at_1$ ⑧，解得：$t_1 = 0.4\ \text{s}$，$v_1 = 1\ \text{m/s}$，且方向水平向右。

(2) 设在 t_1 时间内，A、B 的位移大小分别为 x_A，x_B，由运动学公式得：$x_A = v_0t_1 - \frac{1}{2}a_At_1^2$ ⑨，$x_B = \frac{1}{2}a_Bt_1^2$ ⑩，此后 B 将与木板一起保持相对静止向前做匀减速运动，直到和 A 相遇，这段时间内 A 的加速度大小仍为 a_A，设 B 和木板的加速度大小为 a'，则根据牛顿运动定律，对木板和 B：$\mu_1 m_A g + \mu_2(m_A + m_B + m)g = (m_B + m)a'$ ⑪，假设经过 t_2 时间后 A、B 刚好相遇，且此时速度大小为 v_2，为方便计算我们规定水平向右为正方向，则在这段时间内，对 B 和木板：$v_2 = v_1 - a't_2$　⑫，对 A：$v_2 = -v_1 + a_At_2$ ⑬，联立⑪～⑬式解得 $t_2 = 0.3\ \text{s}$，可以判断此时 B 和木板尚未停下，则 t_2 时间内物块 A、B 的位移大小假设为 x_A'、x_B'，由运动学公式：$x_A' = v_1t - \frac{1}{2}a_At_2^2$ ⑭，$x_B' = v_1t - \frac{1}{2}a't_2^2$ ⑮，则 A 和 B 开始相距 x 满足：$x = x_A + x_A' + x_B + x_B'$　⑯，联立解得：$x = 1.9\ \text{m}$。

点睛　本题属板块模型，重点考查多过程运动的分析，尤其是运动过程中的摩擦力的分析和加速度计算，应分段分析，环环相扣，前一阶段的末状态是后以状态的初状态。要注意滑块和木板做减速运动，速度不是同时减为零的。可以通过画 v-t 图(如图乙所示)分析计算。



甲



乙

第 7 题答图

8. (1) $0.2\ \text{kg}$　(2) $(2\sqrt{2}+3)\text{s}$

解析　(1) 货箱在皮带上运动加速度 $a = \mu g = 2\ \text{m/s}^2$，加速时间 $t_1 = \frac{v_0}{a} = 2\ \text{s}$，加速位移 $x = \frac{1}{2}at^2 = 4\ \text{m}$，由于 $x < L$，则货箱未运动到 B 端时速度已达到 $v_0 = 4\ \text{m/s}$，匀速运动时间为 $t_2 = \frac{L - x}{v_0} = 1\ \text{s}$，货箱

以 v_0 滑上平台，弹回 B 点时速度为 v，根据功能关系，弹簧被压缩到最短时弹性势能为 $E_{pmax}=\frac{1}{2}(M+m)v_0^2$，返回时 $E_{pmax}=\frac{1}{2}Mv^2$，货箱从 B 点返回到 A 点有 $\frac{1}{2}Mv^2=\mu MgL$，联立各式可得：$m=0.2\ \text{kg}$，$v=4\sqrt{2}\ \text{m/s}$。

(2) 木箱从 B 点返回到 A 点的运动时间为：$t_3=\frac{v}{a}=2\sqrt{2}\ \text{s}$。运送货物一次总时间为：$t=t_1+t_2+t_3=(2\sqrt{2}+3)\ \text{s}$。

9. (1) 12 m/s (2) 0.75 m (3) 1 s

解析 (1) 两小球弹开的过程，由动量守恒定律得：$m_1v_1=m_2v_2$，由机械能守恒定律得：$E_p=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$，联立可得：$v_1=5\ \text{m/s}$，$v_2=16\ \text{m/s}$。小球 Q 沿圆轨道运动过程中，由机械能守恒定律可得：$\frac{1}{2}m_2v_2^2=\frac{1}{2}m_2v_C^2+2m_2gR$，解得：$v_C=12\ \text{m/s}$。

(2) 小球 P 在斜面向上运动的加速度为 a_1，由牛顿第二定律得：$m_1g\sin\theta+\mu m_1g\cos\theta=m_1a_1$，解得：$a_1=10\ \text{m/s}^2$，故上升的最大高度为：$h=\frac{v_1^2}{2a_1}\sin\theta=0.75\ \text{m}$。

(3) 设两小球相遇点距离 A 点为 x，小球 P 从 A 点上升到两小球相遇所用的时间为 t，小球 P 沿斜面下滑的加速度为 a_2，则：$m_1g\sin\theta-\mu m_1g\cos\theta=m_1a_1$，解得：$a_2=2\ \text{m/s}^2$，小球 P 上升到最高点所用的时间：$t_1=\frac{v_1}{a_1}=0.5\ \text{s}$，则：$2R=\frac{1}{2}gt^2+h-\frac{1}{2}a_2(t-t_1)^2\sin\theta$，解得：$t=1\ \text{s}$。

10. (1) $\frac{1}{3}\sqrt{gR}$ (2) $\frac{7R}{18\mu}$ (3) $\frac{4R}{9\mu}+\frac{1}{3}\sqrt{2Rh}$

解析 (1) 设小球即将与物块 Q 碰撞前的速度为 v_0，小球由初始位置摆动到最低点的过程中，由机械能守恒定律可得：$mgR(1-\cos 60°)=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得：$v_0=\sqrt{gR}$。设碰撞后小球速度为 v_1，物块 Q 速度为 v_2，由于小球与物块 Q 是弹性碰撞，所以碰撞过程满足机械能守恒和动量守恒，有：$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$，$mv_0=mv_1+mv_2$，两式联立可得：$v_1=0$，$v_2=v_0=\sqrt{gR}$ 即速度交换，小球速度变为零，Q 获得速度 v_0。设 Q 离开平板车时的速度大小为 v，则平板车速度为 $\frac{1}{2}v$，物块 Q 在小车上滑行的过程中，由动量守恒定律可得：$mv_2=mv+M\times\frac{1}{2}v$，$M:m=4:1$，可得：$v=\frac{1}{3}\sqrt{gR}$。

(2) 设平板车的长度为 L，由题意可得物块 Q 在小车上滑行时，一部分动能转化为系统的内能，所以有：$\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}M\left(\frac{1}{2}v\right)^2=\mu mgL$，可得：$L=\frac{7R}{18\mu}$。

(3) 由题意可得，以地面为参考系，物块 Q 在小车上做匀减速直线运动，设其加速度为 a，运动的位移为 s_1，离开平板车后做平抛运动，运动时间为 t，水平位移为 s_2。由牛顿运动定律可得：$a=\frac{\mu mg}{m}=\mu g$，$v^2-v_0^2=-2as_1$，$h=\frac{1}{2}gt^2$，$s_2=vt$，联立可得物块运动的水平位移为：$s=s_1+s_2=\frac{4R}{9\mu}+\frac{1}{3}\sqrt{2Rh}$，由于小球与物块 Q 碰后处于静止状态，所以小物块 Q 落地时距小球的水平距离即为物块运动的水平位移：$s=s_1+s_2=\frac{4R}{9\mu}+\frac{1}{3}\sqrt{2Rh}$。

11. (1) 6 m/s (2) 4.5 m (3) 0.4

解析 (1) 根据机械能守恒得：$mgs_{AB}\sin 37°=\frac{1}{2}mv_B^2$，得：$v_B=6\ \text{m/s}$。

(2) 物块在斜面上，由牛顿第二定律：$F = mg\sin\theta = ma$，物块在斜面上的加速度：$a_1 = g\sin\theta = 6\ \mathrm{m/s^2}$，在斜面上有：$s_{AB} = \frac{1}{2}at_1^2$，代入数据解得：$t_1 = 1\ \mathrm{s}$，物块在 BC 段的运动时间为：$t_2 = t - t_1 = 1.5\ \mathrm{s}$。$BC$ 段的位移为：$s_{BC} = \frac{1}{2}v_B t_2 = 4.5\ \mathrm{m}$。

(3) $a_2 = \frac{v_B}{t_2} = 4\ \mathrm{m/s^2}$，根据牛顿第二定律有：$F' = f = \mu mg = ma_2$，即：$a_2 = \mu g$，联立得：$\mu = 0.4$。

12. (1) $v_B = 1\ \mathrm{m/s}$ (2) $I = 1.5\ \mathrm{N\cdot s}$ (3) $W = 0.45\ \mathrm{J}$

解析 (1) 绳断之后对 B 研究，对 B 应用动量定理：$Ft = m_B v_t - m_B v_B$，得：$v_B = 1\ \mathrm{m/s}$。

(2) 绳断之前对 B 应用动能定理：$F(L-L_0) = \frac{1}{2}m_B v_0^2 - 0$，得：$v_0 = 2\ \mathrm{m/s}$绳断瞬间对 B 应用动量定理：$I = m_B v_B - m_B v_0$，得：$I = -1.5\ \mathrm{N\cdot s}$，即绳对 B 的冲量大小为 $1.5\ \mathrm{N\cdot s}$。

(3) 绳断前后瞬间：$m_B v_0 = m_B v_B + m_A v_A$，$W = \frac{1}{2}m_A v_A^2$，得：$W = 0.45\ \mathrm{J}$。

13. (1) $4\ \mathrm{m/s}$ (2) $0.8\ \mathrm{m}$ (3) 4 次

解析 (1) P 球开始下滑到碰撞前的过程，运动动能定理得：$mgh - \mu mgs_{BC} = \frac{1}{2}mv_0^2$，代入数据可求得：$v_0 = 4\ \mathrm{m/s}$。

(2) P 球和 Q 球在碰撞过程中，取向右为正方向，由动量守恒定律和能量守恒定律得：$mv_0 = mv_P + mv_Q$，由机械能守恒定律得：$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_P^2 + \frac{1}{2}mv_Q^2$，解得：$v_P = 0$，$v_Q = v_0$。设 P 与 Q 第一次碰撞后小球 Q 上升的最大高度为 H。对 Q 由机械能守恒定律得：$\frac{1}{2}mv_Q^2 = mgH$，联立解得：$H = 0.8\ \mathrm{m}$。

(3) 以 P 球和 Q 球为系统，从 P 球开始下滑至 P 球静止的过程中，由能量守恒定律得：$mgh - \mu mgs = 0$，解得 P 球在 BC 段滑行的总路程：$s = 2.5\ \mathrm{m}$，则：$\frac{s}{s_{BC}} = \frac{2.5}{5} = 5$，所以两球碰撞四次，$P$ 球最终静止于 C 点。

14. $1\ \mathrm{N} \leqslant F \leqslant 3\ \mathrm{N}$

解析 物体 A 滑上木板 B 以后做匀减速运动，根据牛顿第二定律，其加速度为：$a_A = \mu g$ ①，木板 B 做加速运动，有：$F + \mu m_1 g = m_2 a_B$ ②，物体 A 不滑落的临界条件是 A 到达 B 的右端时，A、B 具有共同的速度 v_1，则：$\frac{v_0^2 - v_1^2}{2a_A} = \frac{v_1^2}{2a_B} + l$ ③，又：$\frac{v_0 - v_1}{a_A} = \frac{v_1}{a_B}$ ④，由①、③、④式，可得：$a_B = 6\ \mathrm{m/s^2}$，再代入②式得：$F = m_2 a_B - \mu m_1 g = 1\ \mathrm{N}$。

若 $F < 1\ \mathrm{N}$，则 A 滑到 B 的右端时，速度仍大于 B 的速度，于是将从 B 上滑落，所以 F 必须大于或等于 $1\ \mathrm{N}$。当 F 较大时，在 A 到达 B 的右端之前，就与 B 具有相同的速度，之后，A 必须相对 B 静止，才不会从 B 的左端滑落。有：$F = (m_1 + m_2)a$，$\mu m_1 g \geqslant m_1 a$，所以：$F \leqslant 3\ \mathrm{N}$，若 F 大于 $3\ \mathrm{N}$，A 就会相对 B 向左滑下。综上，拉力 F 大小应满足的条件为：$1\ \mathrm{N} \leqslant F \leqslant 3\ \mathrm{N}$。

点睛 本题关键是找出使物体恰好不从最右端下滑和物体间速度相同后恰好不相对滑动的两种临界情况。应分别对物体 A、B 做受力分析，根据牛顿第二定律求出加速度；假设物块 A 恰好不从木板右端滑下，即到达木板右端时 A 与 B 速度相等，然后根据运动学公式列式求解出对应的拉力 F，此为最小值；再求出物体 A 恰好滑到最右端时，之后一起加速，且 A、B 间静摩擦力为最大静摩擦力的情况下力 F 的值，此为最大值，最后得到力 F 的变化范围。

15. (1) $v_1 = 2\sqrt{2gL}$ (2) $v_0' = (20\sqrt{2} - 8)\sqrt{gL}$ (3) $x \geqslant \frac{L}{2\mu}$

解析 (1) 滑块(含子弹)在最低点，由牛顿第二定律得：$T_m - mg = m\frac{v_1^2}{L}$ … ①，又：$T_m = 9mg$ … ②，联立①②式得：$v_1 = 2\sqrt{2gL}$。

(2) 设滑块 B 刚到达水平面时速度为 v，则滑块 B 从水平方向摆到最低点的过程中，由机械能守恒定律：$0.9mgL=\frac{1}{2}\times0.9m(v^2-v_0^2)$…③，解得：$v=2\sqrt{gL}$。子弹击中滑块前一瞬间的速度为 v_0'，子弹击中滑块 B 的过程中，取向左为正方向，由动量守恒定律得：$0.1mv_0'+0.9mv=mv_1$…④，解得：$v_0'=(20\sqrt{2}-18)\sqrt{gL}$。

(3) 设 A 与台阶碰撞前瞬间，A、B 的速度分别为 v_A 和 v_B，取向右为正方向，由动量守恒定律得：$mv_1=2mv_A+mv_B$…⑤，因为 A 与台阶碰撞无机械能损失，所以碰后速度大小仍为 v_A。若 A 与台阶只碰撞一次，碰撞后必须满足：$|2mv_A|\geqslant|mv_B|$…⑥，对 A 应用动能定理：$\mu mgx=\frac{1}{2}\times2mv_A^2$…⑦，联立⑤⑥⑦式解得：$x\geqslant\frac{L}{2\mu}$。即 A 与台阶只能碰撞一次的条件是：$x\geqslant\frac{L}{2\mu}$。

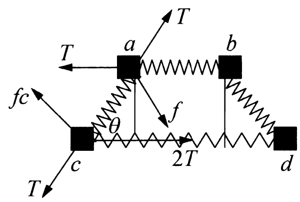
点睛 本题是包含有板块模型的多过程，应分段分析物体的运动过程，对系统运用动量守恒列方程，对于单个物体运用动能定理列式求解位移，都是常规的思路。

专题四 连接体与叠加体的力学问题

1. D

解析 设 P、Q 的质量分别为 m_1、m_2，Q 受到绳的拉力大小为 F_T，物块与斜面间的动摩擦因数为 μ，根据牛顿第二定律，对整体分析，有 $F-(m_1+m_2)g\sin\theta-\mu(m_1+m_2)g\cos\theta=(m_1+m_2)a$；对 Q 分析，有 $F_T-m_2g\sin\theta-\mu m_2g\cos\theta=m_2a$，解得 $F_T=\frac{m_2}{m_1+m_2}F$，可见 Q 受到绳的拉力 F_T 与斜面倾角 θ、动摩擦因数 μ 和系统运动状态(或 a) 均无关，仅与两物块质量和 F 有关，选项 D 正确。

2. C



第 2 题答图

解析 设每根弹簧的原长均为 L_0，a、b 间弹簧的形变量为 Δx_1，c、d 间弹簧的形变量为 Δx_2，则有：$k\Delta x_2=2k\Delta x_1$，若 a、b 间弹簧也是被拉长，则有：$L_0+\Delta x_2=2(L_0+\Delta x_1)$，解得 $L_0=0$，不符合题意，所以 a、b 间弹簧被压缩，选项 A 正确；由于 a 受到的摩擦力大小为 f，根据对称性可得 b 受到的摩擦力大小也为 f，选项 B 正确；以 a 和 c 为研究对象进行力的分析，如答图所示，图中的 θ 为 ac 与 cd 之间的夹角，则：$\cos\theta=\frac{\frac{1}{4}cd}{ac}=\frac{1}{2}$，所以 $\theta=60^\circ$，则 $\angle cab=120^\circ$，a 受到的摩擦力大小 $f=T$；对 c 根据力的合成可得：$f_c=\sqrt{3}f$，所以选项 D 正确；由于 c 受到的摩擦力大小为 $\sqrt{3}f$，根据对称性可知，d 受到的摩擦力大小也为 $\sqrt{3}f$，选项 C 错误。此题选择错误的选项，故选 C。

点睛 力的合成满足平行四边形定则，当两个力方向相同时可以直接相加求合力；当两个力方向相反时可以直接相减求合力；当两个力相互垂直的时候，分力与合力之间满足勾股定理，可以直接用勾股定理计算；如果两个力夹角不是特殊角，可以根据正交分解法、矢量三角形法或三角函数法求解合力大小。

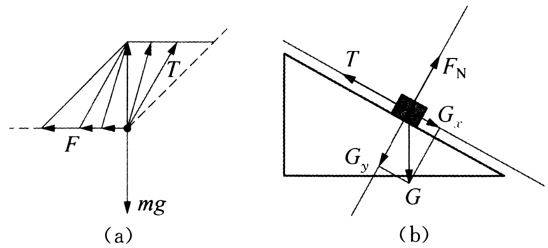
3. CD

解析 只有木板 A 时，木板 A 匀速下滑，则说明木板 A 受到的重力的分力与摩擦力等大反向，即：$mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$。加上小滑块 B 后，A 对斜面的压力增大，则摩擦力变为：$f=\mu\cdot3mg\cos\theta$，而重力沿斜面方向上的力不变，故合外力为：$F_{合}=3\mu mg\cos\theta-mg\sin\theta=2mg\sin\theta$，故木板 A 的加速度 $a=2g\sin\theta$，选项 A、B 错误；由分析可知，整体在沿斜面方向受力平衡，故整体动量守恒，合外力的冲量一定为零，选项 C 正确；因 A、B 总动量保持不变，由动量守恒定律可知：$mv_1+2mv_2=mv_0$，故当 A 动量为 $p_1=\frac{1}{3}mv_0$ 时，B 的动量为 $p_2=\frac{2}{3}mv_0$，选项 D 正确。故选 CD。

4. BD

解析 以物块 N 为研究对象，它在水平向左拉力 F 作用下，缓慢向左移动直至细绳与竖直方向夹角为 $45°$ 的过程中，如答图(a)所示，根据图解法知，水平拉力 F 逐渐增大，绳子拉力 T 逐渐增大，选项 A 错误、B 正确；对 M 进行受力分析，如答图(b)所示，可知若起初 M 受到的摩擦力 f 沿斜面向下，则随着绳子拉力 T 的增加，摩擦力 f 也逐渐增大；若起初 M 受到的摩擦力 f 沿斜面向上，则随着绳子拉力 T 的增加，摩擦力 f 可能先减小后增加。故选择 BD。

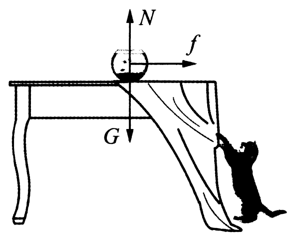
点睛 题中物体 N 受到三个力：水平拉力 F、重力 G、绳子的拉力 T，由于物体缓慢移动，可以当做三力一直平衡处理。物体 M 一定受到重力 Mg、支持力 F_N、绳子拉力 T，摩擦力情况不确定。开始如果三个力恰好达成平衡，则 M 是不受摩擦力的；如果 N 的质量比较小，那么一开始绳子的拉力 T 很小，那么 M 受到摩擦力必然沿斜面向上；N 的质量较大时，摩擦力则沿斜面向下。本题没有说明 M、N 的质量，故要考虑多种可能。



第 4 题答图

5. BD

解析 由答图知在拉动桌布的过程中鱼缸相对桌布向左运动，故受到桌布对其向右的摩擦力作用，选项 A 错误；因鱼缸、桌布、桌面两两之间的动摩擦因数均相等，鱼缸在桌布上与在桌面上运动时受摩擦力大小相等，加速度大小相等，鱼缸先在桌布上加速，然后在桌面上减速到停止，所以根据对称性，鱼缸做加速运动的时间与做减速运动的时间相等，选项 B 正确；若猫增大拉力，桌布的加速度更大，但是由于鱼缸与桌布间的压力不变，动摩擦因数也不变，故摩擦力也不变，选项 C 错误；若猫减小拉力，桌布的加速度减小，鱼缸在桌布上的运动时间变长，而鱼缸向右的加速度不变，由 $x=\frac{1}{2}at^2$ 知，鱼缸相对于桌面加速的位移变大，桌布被拉出后鱼缸在桌面上减速到零的位移也要变大，鱼缸就有可能滑出桌面，选项 D 正确。选 BD。



第 5 题答图

点睛 本题重在分析清楚鱼缸的受力情况、运动情况，属于板块模型问题。鱼缸先在桌布上加速，后在桌面上减速，鱼缸受桌布的滑动摩擦力与猫拉力的大小无关。

6. (1) $F=\frac{5}{3}Mg-mg$ (2) $\frac{M}{m}=\frac{6}{5}$ (3) $T=\frac{8mMg}{5(m+M)}$，$T=\frac{48}{55}mg$ 或 $T=\frac{8}{11}Mg$

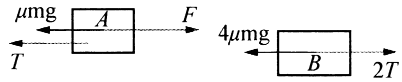
解析 (1) 设小球受 AC、BC 的拉力分别为 F_1、F_2，$F_1\sin 53°=F_2\cos 53°$，$F+mg=F_1\cos 53°+F_2\sin 53°$ 且 $F_1=Mg$，解得：$F=\frac{5}{3}Mg-mg$。

(2) 小球运动到与 A、B 相同高度过程中，小球上升高度 $h_1=3l\sin 53°$，物块下降高度 $h_2=2l$，机械能守恒定律 $mgh_1=Mgh_2$，解得 $\frac{M}{m}=\frac{6}{5}$。

(3) 根据机械能守恒定律，小球刚好能回到起始点。设此时 AC 方向的加速度大小为 a，重物受到的拉力为 T，由牛顿运动定律 $Mg-T=Ma$ 小球受 AC 的拉力 $T'=T$，由牛顿运动定律 $T'-mg\cos 53°=ma$，

解得 $T=\frac{8mMg}{5(m+M)}\left(T=\frac{48}{55}mg \text{ 或 } T=\frac{8}{11}Mg\right)$。

7. (1) $2\mu mgs$ (2) $a_A=\frac{F-3\mu mg}{2m}$ $a_B=\frac{F-3\mu mg}{4m}$



第7题答图

解析 (1) A、B 受力如答图所示。物体 A 移动的距离为 s，则物体 B 移动的距离为 $s_1=\frac{s}{2}$，$f_B=4\mu mg$，则 $W=f_Bs_1=2\mu mgs$。

(2) A：$F-\mu mg-T=ma_A$，B：$2T-4\mu mg=4ma_B$，$a_A=2a_B$，联立解得：$a_A=\frac{F-3\mu mg}{2m}$，$a_B=\frac{F-3\mu mg}{4m}$。

点睛 采用整体法或隔离法对物体进行受力分析，抓住两物体之间的内在联系，绳中张力大小相等，A、B 加速度大小不相等，需根据牛顿第二定律列式求解。解决本题的关键还是抓住联系力和运动的桥梁——加速度。

8. (1) $N=mg\cos\alpha$ (2) $\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\cdot x$ (3) $v_A=\sqrt{\frac{2gx\sin\alpha}{3-2\cos\alpha}}$

解析 (1) 支持力的大小 $N=mg\cos\alpha$。

(2) 根据几何关系：$s_x=x(1-\cos\alpha)$，$s_y=x\sin\alpha$，且：$s=\sqrt{s_x^2+s_y^2}$，解得：$s=\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\cdot x$。

(3) B 的下落高度：$s_y=x\sin\alpha$，由动能定理：$mgs_y=\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2$，又：$v_A=\frac{\Delta x}{\Delta t}$，$v_B=\frac{\Delta s}{\Delta t}$，则：$v_B=\sqrt{2(1-\cos\alpha)}\,v_A$，$v_A=\sqrt{\frac{2gx\sin\alpha}{3-2\cos\alpha}}$。

点睛 此题难在对几何关系的寻找上，B 的实际运动轨迹不是沿斜面，也不是在竖直或水平方向，通常把 B 的运动正交分解。但是是将运动分解为水平、竖直方向，还是分解到沿斜面和垂直斜面方向，要按实际情况选择。第三问难度较大，难在连接体的关联速度的寻找，一般抓住沿弹力的方向分速度相同的特点便可。

9. AC

解析 对 m 受力做分析，沿光滑杆方向，根据牛顿第二定律可知：$mg\cos\theta=ma$，解得：$a=g\cos\theta$，对箱和铁环组成的系统，根据牛顿第二定律可知：$(M+m)g\cos\theta-F_N=M\cdot 0+ma$，解得：$F_N=(M+m)g\cos\theta-mg\cos\theta$，木箱对斜面的压力为：$F_N'=F_N=(M+m)g\cos\theta-mg\cos\theta=Mg\cos\theta$，沿斜面方向有：$f=(M+m)g\sin\theta$，故 B、D 错误，A、C 正确。

点睛 本题主要考查了牛顿第二定律和共点力平衡，关键是正确地做受力分析和合理地选取研究对象。对铁环受力做分析，求得沿光滑杆下滑的加速度，对箱和铁环组成的系统根据牛顿第二定律和共点力平衡可求得摩擦力和压力。

10. A

解析 木板 A 获得速度后，向右做减速运动，B 在摩擦力作用下向右做加速运动，分析 B 受力可得 B 加速度大小为 $a_B=\mu_2 g=1\ \mathrm{m/s^2}$，同理可得 A 加速度大小为 $a_A=\frac{\mu_2 mg+2\mu_1 mg}{m}=5\ \mathrm{m/s^2}$，选项 A 正确。假设 A、B 达共同速度以后以 a 共同做减速运动，则：$a=\frac{\mu_1\cdot 2mg}{2m}=2\ \mathrm{m/s^2}$，大于 B 的最大加速度 $a_B=\mu_2 g=1\ \mathrm{m/s^2}$，假设不成立。A、B 达到共同速度以后 B 相对于 A 向右运动，此时 A 的加速度大小为：$a_A'=\frac{\mu_1\cdot 2mg-\mu_2 mg}{m}=3\ \mathrm{m/s^2}$，B 加速度大小仍为 $1\ \mathrm{m/s^2}$，选项 B、C、D 错误。故选 A。

11. (1) $v_A=\sqrt{\frac{15gL}{17}}$ (2) $v_B'=0$ 或 $v_B'=\sqrt{\frac{16gL}{5}}$ (3) $v_A'=0$ 或 $v_A'=\sqrt{\frac{12gL}{5}}$

解析 (1) 不计一切摩擦，在运动的过程中，A、B 组成的系统只有重力做功，系统机械能守恒。从开始

到 A 到达与 B 同一水平面的过程中，由系统的机械能守恒得：$mgL\sin 37° = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$，且有：$v_A\cos 53° = v_B$，解得：$v_A = \sqrt{\frac{15gL}{17}}$。

(2) ① 当轻杆刚开始滑动时，A 速度最小，此时 $v'_A = v'_B = 0$；

② 当轻杆与水平杆垂直时，A 到达最低点，速度最小，此时 $v'_A = 0$，B 的速度为 v'_B，由系统的机械能守恒得：$mg(L\sin 37° + L) = \frac{1}{2}mv'^2_B$，解得 $v'_B = \sqrt{\frac{16gL}{5}}$；

③ 当 A 重新回到最高点（B 在最左端）时，A 速度最小，此时 $v'_A = v'_B = 0$。

综上所述，$v'_B = 0$ 或 $v'_B = \sqrt{\frac{16gL}{5}}$。

(3) ① 当轻杆刚开始滑动时，B 速度最小，此时 $v'_B = v'_A = 0$；

② 当 B 到达最右端时，速度最小，此时 $v'_B = 0$，A 的速度为 v'_A，由系统的机械能守恒得：

$mg(L\sin 37° + L\sin 37°) = \frac{1}{2}mv'^2_A$，解得 $v'_A = \sqrt{\frac{12gL}{5}}$；

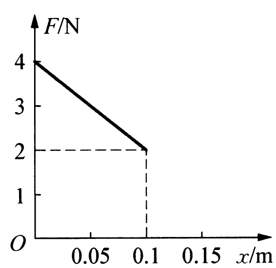
③ 当 B 到达最左端（A 重新回到最高点）时，B 速度最小，此时 $v'_B = v'_A = 0$。

综上所述，$v'_A = 0$ 或 $v'_A = \sqrt{\frac{12gL}{5}}$。

12. D

解析 对 A 分析，小球 A 往下摆的过程中，只有重力做功，机械能守恒，选项 D 错误；设 A 摆至最低点时速度为 v，OA 长度为 L，有：$mgL = \frac{1}{2}mv^2$，在最低点有：$F - mg = m\frac{v^2}{R}$，解得：$F = 3mg$。再对物体 B 受力分析：受重力、支持力、拉力和静摩擦力，重力的下滑分量为 $F_x = 4mg\sin 30° = 2mg$，F 先小于 F_x 后大于 F_x，故 B 受到的静摩擦力先减小，当拉力大于 $2mg$ 后反向变大，选项 A 正确；对物体 B 和斜面体整体受力分析，由于 A 球向左下方拉物体 B 和斜面体整体，故一定受到地面对其向右的静摩擦力，选项 B 正确；小球 A 下摆过程中，设 OA 绳与竖直方向夹角为 θ，$mgL\cos\theta = \frac{1}{2}mv^2$，重力的功率：$P = mgv\sin\theta$，联立得：$P = mg\sin\theta\sqrt{2gL\cos\theta}$，$\theta$ 增大，则：$\cos\theta$ 减少，$\sin\theta$ 增大，由于初末位置 P 均为零（$\theta = 90°$ 或 $0°$），故 P 先增大后减小，选项 C 正确。故选 D。

13. (1) 0.3 J (2) $F = 4 - 20x$(N)($0 \leqslant x \leqslant 0.1$ m) 如图所示 (3) $W = 0.5$ J



第 13 题答图

解析 (1) 分析可知，木板离开过程中，弹簧最初的压缩量和最终的伸长量刚好相等，弹性势能不变。缓缓拉动中，动能不变，故摩擦产生的热量：$Q = W = 0.3$ J。

(2) 木板克服摩擦力做功为 $W_f = \mu mg\frac{L}{2} = Q$，得出 $\mu mg = 6$ N，B 盘中小球受力：$F = T$，桌面上木板受力：$T = \mu mg\frac{L-x}{L} - k\left(\frac{1}{2}L - x\right)$，$0 \leqslant x \leqslant L$，代入数据得：$F = 4 - 20x$(N)($0 \leqslant x \leqslant 0.1$ m)，F-x 图象如图所示。

(3) 木板刚好离开粗糙面时，绳子拉力 $T = 2$ N，小球做圆周运动的半径 $R = r + L$，设此时小球随圆盘转动的线速度为 v，小球受力：$T = m\frac{v^2}{R}$，小球此时的动能为：$E_k = \frac{1}{2}mv^2$，杆对小球做功：$W = Q + E_k$，代入数据解得：$W = 0.5$ J。

点睛 本题是一道力学综合题，考查的知识点有胡克定律、圆周运动、变力做功、动能定理和功能关系。考查学生力学模型的建立、力学过程的分析、相对应规律的运用。本题计算难度并不高，关键在审题。当

题意表述过程较复杂时，要仔细读题，提炼出有效信息，建立正确的模型，找出涉及的知识点，从而明确解题思路。

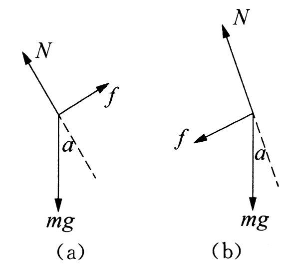
14. (1) 到第 12 个木块左端 (2) 最终停在第 13 块木块上，距离其左端 0.107 m。

解析 (1) 木块受到铅块提供的滑动摩擦力 $f=\mu_2 Mg=2.0\ \text{N}$，有铅块的那个木块与地面间的最大静摩擦力为 $f_1=\mu_1(M+m)g=1.4\ \text{N}$，其余每个木块与地面间的最大静摩擦力为 $f_2=\mu_1 mg=0.4\ \text{N}$，设铅块到第 n 个木块时，第 n 个木块及后面的木块开始在地面上滑动，则：$f>(13-n)f_2+f_1$，得：$n>11.5$。即当铅块滑到第 12 个木块左端时，12、13 两木块开始在地面上滑动。

(2) 铅块刚滑上第 12 个木块左端时的速度 v_1，由动能定理得：$-\mu_2 Mg\cdot 11L=\frac{1}{2}Mv_1^2-\frac{1}{2}Mv_0^2$，解得 $v_1=\sqrt{3}\ \text{m/s}$，铅块滑动的加速度 $a=-\frac{\mu_2 Mg}{M}=-\mu_2 g=-2\ \text{m/s}^2$，此时第 12、13 木块的加速度 $a_1=\frac{\mu_2 Mg-\mu_1(M+2m)g}{2m}=0.25\ \text{m/s}^2$，以第 12、13 两木块为参考系，铅块滑到第 12 个木块右端时相对木块的速度 v_2 满足：$v_2^2-(v_1-0)^2=2(a-a_1)L$，解得：$v_2=\frac{\sqrt{3}}{2}\ \text{m/s}>0$，故铅块可以滑上第 13 个木块。在第 13 个木块上滑动时，木块的加速度为：$a_2=\frac{\mu_2 Mg-\mu_1(M+m)g}{m}=1.5\ \text{m/s}^2$，以第 13 个木块为参照系，铅块相对木块 13 静止时滑行的距离为 $s=\frac{0-v_2^2}{2(a-a_2)}=0.107\ \text{m}<L$，所以，铅块最终停在第 13 块木块上，距离其左端 0.107 m。

点睛 (1) 铅块在木块上滑行时，当铅块对木块的滑动摩擦力等于木块所受的最大静摩擦力时，恰好能带动它右面的木块一起运动。 (2) 根据上一问的结果，运用动能定理列式求出铅块滑上该木块左端时的速度，由牛顿第二定律求出铅块和已滑动的木块整体的加速度。由运动学公式求出铅块相对木块静止时滑行的距离，即可进行判断。

15. (1) $t_{AB}=\frac{2\sqrt{3}}{3}\ \text{s}$ (2) $v_B=3\ \text{m/s}$ (3) $T=1.5\ \text{s}$



第 15 题答图

解析 (1) 传送带顺时针转动，分析物块受力如答图(a)所示，可得：$mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma_1$，$L_1=\frac{1}{2}a_1 t_{AB}^2$，联立解得：$t_{AB}=\frac{2\sqrt{3}}{3}\ \text{s}$。

(2) 传送带逆时针转动，刚开始物块相对传送带往上滑，对物块受力分析如答图(b)所示，有：$mg\sin\theta+\mu_1 mg\cos\theta=ma_2$，达到传送带速度 v_0 所用时间为：$t=\frac{v_0}{a_2}$，位移 $x_1=\frac{1}{2}a_2 t^2$，之后因为 $\mu_1<\tan 30°$，故物块相对传送带向下加速滑动，物块受力分析如答图(a) 所示：$mg\sin\theta-\mu_1 mg\cos\theta=ma_1$，位移：$x_2=L_1-x_1=\frac{v_B^2-v_0^2}{2a_1}$，解得：$v_B=3\ \text{m/s}$。

(3) 物块滑上木板相对滑动时做匀减速运动，对物块：$a_3=-\frac{\mu_2 mg}{m}=-4\ \text{m/s}^2$，对木板：$a_4=\frac{\mu_2 mg-\mu_3(M+m)g}{M}=2\ \text{m/s}^2$，设经过 t_1 时间物块与木板达到共同速度 v_1，则：$v_B+a_3t_1=a_4t_1$，解得：$t_1=0.5\ \text{s}$，$v_1=a_4t_1=1\ \text{m/s}$。因为 $\mu_3<\mu_2$，物块能与木板保持相对静止，其整体加速度为：$a_5=-\frac{\mu_3(M+m)g}{M+m}=-1\ \text{m/s}^2$，物块与木板做匀减速运动直到停止的时间：$t_2=\frac{v_1}{a_5}=1\ \text{s}$，物块运动的总时间：$T=t_1+t_2=1.5\ \text{s}$。

点睛 解本题的关键是能正确对物块进行受力分析，判断其运动情况，注意二者同速是解题的临界状态；灵活应用牛顿运动定律求解。此题受力分析时，变力太多导致出现多个运动过程。

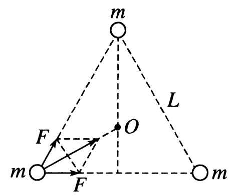
专题 5　万有引力与航天

1. C

解析　根据 $\frac{GMm}{r^2}=ma=m\frac{v^2}{R}=m\omega^2 r=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$，得：$a=\frac{GM}{r^2}$，$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，$T=\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}}$。$a$ 的轨道半径与 c 的轨道半径相等，小于 d 的轨道半径，知 a、c 的线速度大小相等，大于 d 的线速度，故 A 错误。b 的轨道半径大于 c，则 b 的角速度小于 c 的角速度，即小于 a 的角速度，故 B 错误。a、c 的轨道半径相等，小于 b 的轨道半径，则 a、c 的加速度大小相等，大于 b 的加速度，故 C 正确。由于 b、c 的轨道半径不同，则周期不同，再经过一个周期，b 不在 c 的正上方，故 D 错误。故选 C。

点睛　解答本题关键在于抓住万有引力提供向心力，先列式求解出线速度、角速度和加速度的表达式，再进行讨论；除向心力外，线速度、角速度、周期和加速度均与卫星的质量无关，只与轨道半径有关。

2. C



第 2 题答图

解析　任意两星间的万有引力为：$F=G\frac{m^2}{L^2}$，对任一星受力分析，如图所示。由答图中几何关系和牛顿第二定律可得：$\sqrt{3}F=ma=m\omega^2\cdot\frac{L}{\sqrt{3}}$，故：$\omega=\sqrt{\frac{3Gm}{L^3}}$，$a=\omega^2\cdot\frac{L}{\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{3}Gm}{L^2}$，选项 A、B 错误；由周期公式可得：$T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{3Gm}}$，当 L 和 m 都变为原来的 2 倍，则周期 $T'=2T$，选项 C 正确；由速度公式得：$v=\omega\cdot\frac{L}{\sqrt{3}}=\sqrt{\frac{Gm}{L}}$，当 L 和 m 都变为原来的两倍，则线速度 $v'=v$，选项 D 错误。选 C。

3. D

解析　由于是同步卫星，入轨后一定只能与赤道在同一平面上，不可以位于北京正上方，选项 A 错误；由于第一宇宙速度为卫星绕地球运行的最大速度，所以卫星入轨后的速度一定小于第一宇宙速度，选项 B 错误；由于第二宇宙速度为卫星脱离地球引力的最小发射速度，故卫星发射速度一定小于第二宇宙速度，选项 C 错误；将卫星发射到越高的轨道克服引力所做的功越多，若发射到近地圆轨道所需能量较少，选项 D 正确。选 D。

4. C

解析　根据 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{4\pi^2 R}{T^2}$ 及 $M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$ 得 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$，代入数据得：$\rho=5\times10^{15}\ \text{kg/m}^3$。

5. A

解析　设地球质量为 M，人造卫星质量为 m，卫星与地球中心的距离为 r，周期为 T，人造卫星做匀速圆周运动，根据万有引力提供向心力：$G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r=m\omega^2 r=m\frac{v^2}{r}=ma$，得：$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，$\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$，$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，$a=G\frac{M}{r^2}$。“高分五号”轨道高度比“高分四号”轨道高度低，故 r 较小，则 T 较大，选项 A 正确；v、ω、a 较小，选项 BCD 错误。

6. BC

解析　设两颗中子星相距为 L，质量分别为 m_1、m_2，轨道半径分别为 r_1、r_2，根据万有引力提供向心力，有 $\frac{Gm_1 m_2}{L^2}=m_1\omega^2 r_1=m_2\omega^2 r_2$，因为 $r_1+r_2=L$，所以质量之和为 $m_1+m_2=\frac{\omega^2 L^2}{G}(r_1+r_2)=\frac{\omega^2 L^3}{G}$，其中 $\omega=\frac{2\pi}{T}=24\pi\ \text{rad/s}\left(T=\frac{1}{12}\ \text{s}\right)$，$L=400\ \text{km}$，可求，B 正确，A 错误。根据 $v=\omega r$，得 $v_1+v_2=\omega(r_1+r_2)=$

ωL，可求，C正确；可以求出两颗中子星互相绕着运动的角速度，不可以求出各自的自转角速度，D错误。选BC。

7. CD

解析 卫星做圆周运动的向心力由万有引力提供，则有：$G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h)$ ①，无法计算得到卫星的质量 m，也无法计算其向心力大小，可求地球的密度，不可求卫星的密度，A、B选项错误；又：$G\frac{Mm}{R^2}=mg$ ②，联立①②两式得：$R+h=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}$，可得：$h=\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}-R$，C项正确；由 $v=\frac{2\pi}{T}(R+h)$，可计算出卫星的线速度的大小，D项正确。选CD。

8. C

解析 由图可知，月球和"鹊桥"一起同步绕地球做圆周运动，两者加速度和周期相同，由于"鹊桥"轨道半径大于月球轨道半径，根据 $a=\omega^2 r$ 可知，故"鹊桥"的加速度大于月球的加速度，选项A错误；根据 $v=\omega r$ 又可知"鹊桥"的线速度大于月球的线速度，B选项错误；月球做圆周运动的向心力由地球对月球的引力和"鹊桥"对月球的引力的合力提供，故地球对月球的引力大于"鹊桥"对月球的引力，结合牛顿第三定律可知C选项正确；由于月球和"鹊桥"的周期相同，且大于地球同步卫星的周期，将月球和"鹊桥"视为一整体，根据 $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r=ma$ 知，其绕地球运动的轨道半径大于地球同步卫星的轨道半径，故"鹊桥"的向心加速度小于地球同步卫星的向心加速度，D选项错误。选C。

9. BD

解析 飞船在Gliese581g表面附近运行时，万有引力提供向心力，则：$m\frac{v^2}{R}=mg$，解得：$v=\sqrt{gR}$，该星球半径大约是地球的2倍，重力加速度与地球相近，所以在该星球表面运行速度约为地球表面运动速度的 $\sqrt{2}$ 倍，在地球表面附近运行时的速度为7.9 km/s，所以以在该星球表面运行速度约为11.17 km/s，故A错误；根据密度的定义式 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{\frac{gR^2}{G}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$，故该行星的平均密度与地球平均密度之比等于半径的倒数比，即该行星的平均密度约是地球平均密度的 $\frac{1}{2}$，故B正确；忽略星球自转的影响，根据星球表面处万有引力等于重力列出等式：$G\frac{Mm}{R^2}=mg$，$g=\frac{GM}{R^2}$，这颗行星的重力加速度与地球相近，它的半径大约是地球的2倍，所以它的质量是地球的4倍，故C错误；由于这颗行星在太阳系外，所以航天器的发射速度至少要达到第三宇宙速度，故D正确。选BD。

点睛 解题关键有三点：一是了解三大宇宙速度的物理意义；二要知道这颗行星的绕行中心体，才能与地球进行比较；三是忽略星球自转的影响，根据万有引力等于重力列出等式。其次要掌握求某个物理量之比，应该把这个物理量先用已知的物理量表示出来，再根据表达式进行比较。两者进行比较时要先找到它们的共同点。

10. D

解析 地球的第一宇宙速度，就是近地卫星的运行速度，根据重力提供向心力 $mg=m\frac{v^2}{R}$，得 $v=\sqrt{gR}$，因为地球自转变慢，其表面的重力加速度变大，故地球的第一宇宙速度变大，故A错误。赤道上的物体受到的重力等于万有引力减去向心力，$F_{向}=m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$，因为 T 变大，向心力变小，故重力变大，即地球赤道处的重力加速度变大，故B错误。地球同步卫星由万有引力提供圆周运动向心力，据 $G\frac{Mm}{r^2}=$

$m\frac{4\pi^2}{T^2}r$，得$T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$，由此可知，地球自转在逐渐变慢，即同步卫星的周期$T$增大，轨道半径$r$增大，距地面的高度变大，故C错误。万有引力提供圆周运动向心力，$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$，得$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$，由此可知，轨道半径$r$变大，卫星的线速度变小，故D正确。故选D。

11. D

解析 设该行星的质量为M，半径为R，密度为ρ，第一宇宙速度为v_1，其表面上某一物体的质量为m，某一卫星的质量为m'，则有：$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v_1^2}{R}$ ①，$\frac{GMm'}{(R+h_1)^2}=m'a_1$ ②，$\frac{GMm'}{(R+h_2)^2}=m'a_2$ ③，$\frac{GMm'}{(R+h_2)^2}=m'\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2(R+h_2)$ ④，$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ ⑤，由②③解得：$R=\frac{h_2\sqrt{a_2}-h_1\sqrt{a_1}}{\sqrt{a_1}-\sqrt{a_2}}$ ⑥，选项B正确；将⑥式代入②式或③式可求出：$M=\frac{a_1}{G}\left(\frac{h_2\sqrt{a_2}-h_1\sqrt{a_1}}{\sqrt{a_1}-\sqrt{a_2}}+h_1\right)^2$ ⑦，将⑥⑦式代入①式，可求得v_1，选项A正确；将⑥⑦式代入⑤式，可求得ρ，选项C正确；将⑥⑦式代入④式，可求出该行星的卫星的周期，但无法求出行星的自转周期。则选项D错误，故选D。

点睛 解题关键是根据图象获取有用信息；注意“物体到行星表面的距离h”和“行星的半径”的区别；注意审题，题目要求判定的是“根据以上数据不能计算出”的物理量。作为选择题可以不必计算出各个物理量结果，只需知道根据$\frac{GMm}{r^2}=ma$，将a_1、h_1、a_2、h_2分别代入可得两个方程，联立求解即可得“行星的半径R”和“行星的质量M”，再根据密度公式$\rho=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$可计算出“行星的密度”即可。

12. D

解析 “火星冲日”是指火星和太阳正好分处于地球的两侧，三者几乎成一直线，t_0时间内地球和火星转过的角度之差等于2π，根据$\left(\frac{2\pi}{T}-\frac{2\pi}{T_{火}}\right)t_0=2\pi$，得：$T_{火}=\frac{t_0}{t_0-T}T$，选项D正确。

13. AD

解析 由$\frac{GMm}{R^2}=mg$，得到：$g=\frac{GM}{R^2}$，已知火星半径是地球半径的$\frac{1}{2}$，质量是地球质量的$\frac{1}{9}$，则火星表面的重力加速度是地球表面重力加速度的$\frac{4}{9}$，即为$\frac{4}{9}g$。设火星质量为M'，由万有引力等于重力可得：$\frac{GM'm}{R'^2}=mg'$，解得：$M'=\frac{gR^2}{9G}$，密度为：$\rho=\frac{M}{V}=\frac{2g}{3\pi GR}$，故A正确，B错误；由$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$，得到：$v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$，可知火星的第一宇宙速度是地球第一宇宙速度的$\frac{\sqrt{2}}{3}$倍，故C错误；王跃以$v_0$在地球起跳时，根据竖直上抛运动的规律得出可跳的最大高度是：$h=\frac{v^2}{2g}$，由于火星表面的重力加速度是$\frac{4}{9}g$，王跃以相同的初速度在火星上起跳时，可跳的最大高度$h'=\frac{9}{4}h$，D正确。故选AD。

点睛 通过物理规律把进行比较的物理量表示出来，再通过已知的物理量关系求解问题是选择题中常见的方法。把星球表面的物体运动和天体运动结合起来是高考中常见的问题。

14. A

解析 双星系统的结构是稳定的，故它们的角速度相等。设甲、乙的间距为L，甲、乙黑洞的质量分别为m_1、m_2，圆周运动的轨道半径分别为r_1、r_2，根据牛顿第二定律，有：$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\omega^2r_1=m_2\omega^2r_2$，其中：

$r_1+r_2=L$，故 $r_1=\frac{m_2}{m_1+m_2}L$，$r_2=\frac{m_1}{m_1+m_2}L$，故：$\frac{v_1}{v_2}=\frac{\omega r_1}{\omega r_2}=\frac{m_2}{m_1}=\frac{39}{26}$，B错误，D错误；两个黑洞间的万有引力提供向心力，根据牛顿第二定律，有：$\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1a_1=m_2a_2$，故两个黑洞的向心加速度之比为 39∶26，故C错误；若已知两黑洞的绕行周期 T 和太阳质量 $m_太$，根据 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_1\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r_1$ 和 $\frac{Gm_1m_2}{L^2}=m_2\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r_2$ 以及 $m_1=26m_太$ 可求得 $L=\sqrt[3]{\frac{65Gm_太T^2}{4\pi^2}}$，A正确，选A。

15. (1) $r=2R$　(2) $\rho=\frac{6g}{7G\pi R}$

解析　(1) 物体在星球两极处，万有引力等于重力，有：$\frac{GM_星 m}{R_星^2}=mg_极$①，在星球赤道处，万有引力的一个分力提供向心力，另一个分力等于重力，有：$\frac{GM_星 m}{R_星^2}=m\cdot g_赤+m\omega^2R_星$②，$g_赤=\frac{7}{8}g_极$③，该星球的同步卫星的角速度等于星球自转角速度，有：$\frac{GM_星 m}{r^2}=m\omega^2r$④，联立各式得：$r=2R_星$，即：$r=2R$。

(2) 在星球赤道上，有：$\frac{7GM_星 m}{8R_星^2}=mg$，得：$M_星=\frac{8gR_星^2}{7G}$，又因星球的体积：$V=\frac{4}{3}\pi R_星^3$，故该星球的密度：$\rho=\frac{M}{V}=\frac{6g}{7G\pi R}$。

点睛　求解本题要知道物体在星球两极时万有引力等于重力 $mg_极$；在星球赤道上随星球自转时，向心力由万有引力的一个分力提供，另一个分力就是重力 $mg_赤$，知道这两个关系是解题的关键。

专题六　功和能

1. BD

解析　对整体分析可知，F 做功将能量转化为两个物体的动能及系统的内能，故 F 做的功一定大于 A、B 系统动能的增加量，A错误、B正确；由动能定理可知，拉力 F 做的功和 B 对 A 做的功之和等于 A 的动能的增加量，选项C错误；对 B 分析，根据动能定理可知，A 对 B 做的功等于 B 的动能的增加量，选项D正确。

2. (1) 5 N；(2) 1 m/s　(3) 1 s

解析　(1) 轿厢恰好达到最大速度时，设 A、B 之间的绳子张力为 T。根据平衡条件得对 A：$T=Mg$，对 B：$T=mg+F_B$。可得 B 下方绳子对 B 的拉力大小为 $F_B=5$ N。

(2) 加速度为 $a=2\ \text{m/s}^2$ 时，设 A、B 之间的绳子张力为 T'，平衡重物 B 下端绳的拉力大小为 F'_B，对 A：$T'-Mg=Ma$，对 B：$F'_B+mg-T'=ma$，联立得：$F'_B=(M-m)g+(M+m)a=10$ N，重物 B 的速度大小 $v=\frac{P}{F'_B}=1$ m/s。

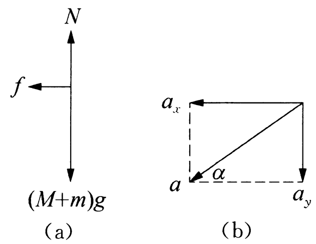
(3) 由 $P=F_Bv_m$ 得轿厢的最大速度为：$v_m=\frac{P}{(M-m)g}=2$ m/s。轿厢从开始运动到恰好达到最大速度过程，对 A、B 整体，由动能定理得：$Pt-Mgh+mgh=\frac{1}{2}(M+m)v_m^2$，解得：$t=1$ s。

点睛　本题是连接体问题，可采用隔离法研究绳子的拉力。轿厢达到最大速度时 A、B 的合力为零，先根据平衡条件求出绳的拉力 F_B，再由 $P=F_Bv_m$ 求轿厢的最大速度 v_m；有加速度时，应根据牛顿第二定律求出拉力，再利用功率公式计算瞬时速度；对轿厢从开始运动到恰好达到最大速度过程运用动能定理列式，可考虑选系统为研究对象，从而求得所用的时间。

3. C

解析　滑块 A 上滑时受到的滑动摩擦力沿斜面向下，下滑时滑动摩擦力沿斜面向上，则上滑时滑块 A 的

合力大于下滑时的合力，由牛顿第二定律得知，滑块上滑的加速度大于下滑的加速度。在上滑和下滑的两个过程中，滑块的加速度方向都沿斜面向下。对整体研究，受力情况分析如答图(a)所示。将滑块的加速度分解为水平和竖直两个方向如答图(b)所示。



第 3 题答图

由牛顿第二定律得：$f = ma_x = ma\cos\alpha$，a_x 方向水平向左，则地面对斜面体 B 的摩擦力 f 方向也水平向左，且两个过程 f 方向不变，但由于加速度大小 a 不同，则知斜面体 B 受地面的摩擦力大小改变、方向不变，故选项 A 错误；

由牛顿第二定律有：$(M+m)g - N = ma_y$，则得：$N < (M+m)g$，即斜面体 B 受地面的支持力大小始终小于 A 与 B 的重力之和，选项 B 错误；

两个过程滑块的位移大小相等，由位移公式 $x=\frac{1}{2}at^2$，得知滑块向上滑动的时间小于向下滑动的时间，两个过程中，重力做功大小相等，所以滑块上滑过程中重力的平均功率大于下滑过程中重力的平均功率，选项 C 正确；

物体损失的机械能等于克服摩擦力做功，两个过程中，物体所受的滑动摩擦力大小相等，位移大小相等，物体克服摩擦力做功相等，则得滑块上滑过程中损失的机械能等于下滑过程中损失的机械能，故选项 D 错误。故选 C。

点睛 滑块在上滑和下滑的两个过程中，加速度方向都沿斜面向下，有水平向左的分加速度。研究地面对 B 的摩擦力和支持力时对整体运用牛顿第二定律；根据物体损失的机械能等于克服摩擦力做功来判断上、下过程中损失的机械能；根据时间关系比较上、下滑重力的平均功率关系。本题是牛顿第二定律、运动学公式和功能关系的综合应用，关键是巧选整体法研究加速度不同的两个物体，巧用分解加速度的方法列牛顿运动定律方程研究摩擦力和支持力。

4. AD

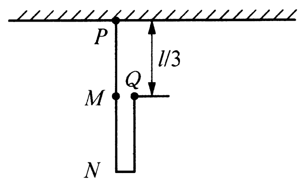
解析 E_p - h 图象知其斜率代表 G，故 $G = \frac{80\ \text{J}}{4\ \text{m}} = 20\ \text{N}$，解得 $m = 2\ \text{kg}$，选项 A 正确；$h = 0$ 时，$E_p = 0$，$E_k = E_{机} - E_p = 100\ \text{J} - 0 = 100\ \text{J}$，故 $\frac{1}{2}mv^2 = 100\ \text{J}$，解得：$v = 10\ \text{m/s}$，选项B错误；$h = 2\ \text{m}$ 时，$E_p = 40\ \text{J}$，$E_{机} = 90\ \text{J}$，$E_k = E_{机} - E_p = 90\ \text{J} - 40\ \text{J} = 50\ \text{J}$，选项C错误；$h = 0$ 时，$E_k = E_{机} - E_p = 100\ \text{J} - 0 = 100\ \text{J}$，$h = 4\ \text{m}$ 时，$E_k' = E_{机} - E_p = 80\ \text{J} - 80\ \text{J} = 0\ \text{J}$，故 $E_k - E_k' = 100\ \text{J}$，选项 D 正确。故选 AD。

5. C

解析 分析题意可知，小球从 a 点开始运动，离开 c 点时速度竖直向上，以后在重力和水平外力作用下做斜抛运动，到达轨迹最高点时竖直速度为零，从 a 到 c 的过程中，根据动能定理：$F \cdot 3R - mgR = \frac{1}{2}mv_c^2$，$F = mg$，得：$v_c = 2\sqrt{gR}$，离开 c 点后竖直方向做竖直上抛运动，到最高点运动时间：$t = \frac{v_c - 0}{g} = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$，此时水平位移为：$x = \frac{1}{2}at^2$，$a = \frac{F}{m} = g$，解得：$x = 2R$。根据功能关系，小球从 a 点开始运动到其轨迹最高点，机械能的增量为：$\Delta E = F(3R + x) = 5mgR$，C 正确。选 C。

6. A

解析 由题可知，缓慢提升绳子，在整个过程中，动能不变，则外力做功 W_F 等于重力势能增加量 ΔE_p。将 Q 端提升至 M 位置处，过程如图所示。由图可知：全程重力势能增加量 ΔE_p 可视为只有 NQ 段上升增加的重力势能。取 NQ 段为研究对象，此段质量大小为：$m' = \frac{1}{3}m$，其重心位置上



第 6 题答图

升高度为：$h=\frac{1}{3}l$，则外力做功为：$W_F=\Delta E_p=m'gh=\frac{1}{9}mgl$。选 A。

7. AD

解析 设速度最大位置为 C，则加速度为 0，$kx=\mu mg$，x 为弹簧压缩量，C 点在 O 点以左，所以 B 错误；从 A 到 C，加速度减小，从 C 到 B，加速度增大，所以 A 正确；从 A 到 O，弹簧弹力做正功，从 O 到 B，弹簧弹力做负功，C 错误；根据动能定理，所受弹簧弹力做的功等于克服摩擦力做的功，D 正确。选 AD。

8. AC

解析 由两次提升的高度相同可知，①、②图形不重合部分面积应相等。设第②次所用时间为 t，有：$\frac{1}{2}\times v_0\times 2t_0=\frac{1}{2}\times\frac{v_0}{2}\times\left(t+t-2\times\frac{t_0}{2}\right)$，可得②过程的总时间为 $t=2.5t_0$，故矿车上升所用的时间之比为 4∶5，选项 A 正确；加速上升阶段牵引力最大，有：$F_m-mg=ma$，两次提升的质量和加速度都相同，故 F_m 相等，电机的最大牵引力之比为 1∶1，选项 B 错误；最大输出功率为 $P_m=F_m v_m$，已知最大牵引力相等，①过程的最大速度是②过程的两倍，故电机输出的最大功率之比为 2∶1，选项 C 正确；根据动能定理：$W-mgh=0$，提升的质量和高度都相等，所以电机所做的功相等，选项 D 错误。选 AC。

点睛 此题以速度图象给出解题信息。解答此题有四个易错点：一是对速度图象面积表示位移掌握不到位；二是运用牛顿运动定律求解牵引力错误；三是不能找出最大功率；四是不能用动能定理或功能关系得出两次提升电机做功。实际上，可以根据两次提升的高度相同，提升的质量相同，利用功能关系得出两次做功相同。

9. ABD

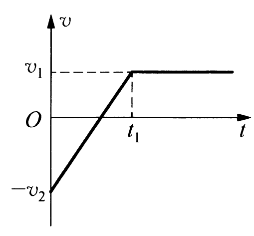
解析 对小物体从 A 到 C 应用动能定理：$mg(H+h_1)-W=0$，选项 A 正确；设 B 点距上边界 x，$mg=kx$，小物体进入特殊区域的速度为 v_0，$\frac{1}{2}mv_0^2+mgh_1=\frac{1}{2}kh_1^2$，$\frac{1}{2}kh_1^2>mgh_1$，$h_1>\frac{2mg}{k}=2x$，在 C 处，根据牛顿第二定律：$kh_1-mg=ma$，$a>g$，选项 B 正确；最大速度的位置合力为零，第二次释放后，最大速度的位置还在 B 点，选项 C 错误；对两次运动的全程应用动能定理有：$mg(H+h_1)=\frac{1}{2}kh_1^2$，$mg(2H+h_2)=\frac{1}{2}kh_2^2$，解得 $H(h_2^2-2h_1^2)+h_1h_2(h_2-h_1)=0$，$h_2>h_1$，$h_2^2-2h_1^2<0$，$h_2<\sqrt{2}h_1$，D 项正确。选 ABD。

点睛 本题考查了受力分析、运动分析、牛顿第二定律、动能定理，以及弹簧模型的迁移（向上的作用力 f 类似于弹簧弹力）。

10. B

解析 在最低点时：$F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$，$F_N=2mg$，解得：$v=\sqrt{gR}$，$\frac{1}{2}mv^2<mgR$，可知人的机械能不守恒，阻力做了功：$W_f+mgR=\frac{1}{2}mv^2$，得：$W_f=-\frac{1}{2}mgR$，选项 A、D 错误；在圆弧轨道上加速度先向下后向上，故先失重后超重，选项 B 正确；重力的功率开始时为零，到达最低点时重力与速度方向垂直，重力的功率也为零，则重力的功率先增大后减小，选项 C 错误。选 B。

11. (1) $a=\frac{v_1+v_2}{t_1}$ (2) $x=\frac{v_2^2t_1}{2(v_1+v_2)}$ (3) $m(v_1+v_2)v_1$



第 11 题答图

解析 (1) 以传送带的速度方向为正方向，作出物块运动的 $v-t$ 图象如图所示，设传送带与物块之间的动摩擦因数为 μ，对物块有：$\mu mg=ma$，$a=\mu g$。由图象可得：$a=\frac{v_1+v_2}{t_1}$。

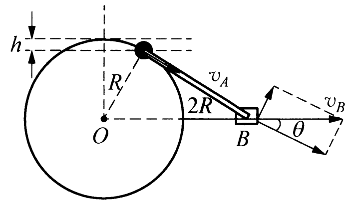
(2) 设物块经过时间 t_2 速度减为零，则有 $v_2=at_2$，由 $v_2{}^2=2ax$ 得物体向左运动的最大位移：$x=\frac{v_2^2}{2a}=\frac{v_2^2t_1}{2(v_1+v_2)}$。

(3) 系统消耗的电能等于电动机的驱动力对传送带做的功，传送带匀速运动，$F_{驱}=\mu mg$，由功的公式：$E=W_{驱}=F_{驱}x_{带}=\mu mgv_1t_1=m(v_1+v_2)v_1$。

12. (1) $\sqrt{2gR}$ (2) $\frac{15-6\sqrt{5}}{17}mgR$

解析 (1) 当A滑到与O同高度时，A的速度沿圆环切向向下，B的速度为0，由机械能守恒定律得：$3mgR=\frac{1}{2}\times(3m)v^2$，解得：$v=\sqrt{2gR}$。

(2) 杆与圆环相切时，A的速度沿杆方向，设为v_A，此时B的速度设为v_B，根据杆不可伸长和缩短，得：$v_A=v_B\cos\theta$。由几何关系得：$\cos\theta=\frac{2}{5}\sqrt{5}$。球$A$下落的高度：$h=R(1-\cos\theta)=\frac{5-2\sqrt{5}}{5}R$。由机械能守恒定律得：$3mgh=\frac{1}{2}(3m)v_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2$，由动能定理得：$W=\frac{1}{2}mv_B^2$，解得：$W=\frac{15-6\sqrt{5}}{17}mgR$。



第12题答图

13. BC

解析 设向右为正方向，小墨块速度未与传送带速度相同时，受到的摩擦力始终向右，加速度始终向右，根据牛顿定律可知：$a=\mu g=2\ \text{m/s}^2$；小墨块向左减速运动时，对小墨块有：$0=v_2-at_1$，$x_1=\frac{0+v_2}{2}t_1$，联立解得：$t_1=2\ \text{s}$，$x_1=4\ \text{m}$，A错误；小墨块向左减速的过程中，传送带的位移大小为：$x_2=v_1t_1$，小墨块向右加速运动时，对小墨块有：$v_1=at_2$，$x_1'=\frac{0+v_1}{2}t_2$，传送带位移为：$x_2'=v_1t_2$，因而小墨块在传送带上的痕迹长度为：$\Delta x=(x_1+x_2)+(x_2'-x_1')$，解得：$\Delta x=9\ \text{m}$，D错误；小墨块在传送带上运动过程中产生的热量$Q=\mu mg\cdot\Delta x=18\ \text{J}$，B正确；因为传送小墨块电动机多消耗的电能：$\Delta E_{电}=Q+\Delta E_k=Q+\left(\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2\right)=12\ \text{J}$，C正确。故选BC。

点睛 本题考查传送带问题中运动学公式的应用，要注意正确分析二者间的联系，分别由位移公式及速度公式进行分析求解；注意小墨块有返回过程。解题关键是分析小墨块的受力及运动情况，根据运动学公式可求得加速度，再由运动学公式可求得小墨块前进的位移；因为小墨块与传送带有相对运动，故会在传送带上形成痕迹，求出相对静止所用的时间，再由运动学公式求出各自的位移，即可求得痕迹长度(小墨块在传送带上的痕迹长度即相对位移大小，也可直接通过$\Delta x=\frac{(v_1+v_2)^2}{2(\mu g-0)}$计算)。

14. (1) $2R$ (2) $\frac{4-\sqrt{5}}{2}R$ (3) $\frac{5}{8}mgR$

解析 (1) A球恰好能够到达轨道最高点M，有：$mg=m\frac{v_1^2}{R}$，A球从M到P点做平抛运动，竖直方向有：$2R=\frac{1}{2}gt^2$，水平方向有：$x_{NP}=v_1t$，联立解得：$x_{NP}=2R$。

(2) A、B两小球在细线烧断瞬间有：$m_Av_A=m_Bv_B$，A球从N点到M点由动能定理：$-2m_AgR=\frac{1}{2}m_Av_1^2-\frac{1}{2}m_Av_A^2$，联立解得：$v_A=\sqrt{5gR}$，$v_B=\frac{1}{2}\sqrt{5gR}$，当$B$球与$C$球发生非弹性碰撞时，有：$m_Bv_B=(m_B+m_C)v_{BC}$，$x_{QP}=v_{BC}t$，联立解得：$x_{QP}=\frac{\sqrt{5}}{2}R$，故$N$、$Q$间距离：$x_{NQ}=x_{NP}-x_{QP}=\frac{4-\sqrt{5}}{2}R$。

(3) 根据能量守恒定律，B、C两小球碰撞时损失的能量：$\Delta E=\frac{1}{2}m_Bv_B^2-\frac{1}{2}(m_B+m_C)v_{BC}^2=\frac{5}{8}mgR$。

15. (1) 32.5 N (2) 600 N (3) $0\leqslant t_1\leqslant 26\ \text{s}$或$t_2\geqslant 35\ \text{s}$

解析 (1) 对$A\to C$过程由动能定理：$FL-\mu mgL-mgR=0-0$，得：$F=32.5\ \text{N}$。

(2) $mg=m\frac{v_2^2}{R}$，在物块由 B 点运动到 D 点过程中，由机械能守恒定律得：$\frac{1}{2}mv_1^2=2mgR+\frac{1}{2}mv_2^2$，解得：$v_1=\sqrt{5gR}$，又由牛顿第二定律得：$F-mg=m\frac{v_1^2}{R}$，所以 $F=600$ N。

(3) 不脱离轨道情景一：小车上升的高度不超过 C 点，A 到 C 过程由动能定理得：$Pt_1-\mu mgL-mgR=0$，$t_1=26$ s，t 需满足的条件：$0\leqslant t_1\leqslant 26$ s。不脱离轨道情景二：小车恰能上升到最高点 D，需满足：$mg=m\frac{v_D^2}{R}$，A 到 D 过程由动能定理得：$Pt_2-\mu mgL-mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_D^2$，$t$ 需满足的条件：$t_2\geqslant 35$ s。综上所述，$0\leqslant t_1\leqslant 26$ s 或 $t_2\geqslant 35$ s。

专题七　碰撞与动量

1. 14 m/s

解析　10 s 时，杯子及水的总质量 $m=(0.5+0.7\times 10)$ kg $=7.5$ kg；设注入盆中的水流的速度为 v，取竖直向下为正方向，Δt 时间内注入杯中的水的质量 $\Delta m=0.7\Delta t$，对杯子和杯子中的水进行分析，根据动量定理可知：$(mg+\Delta m\cdot g-F)\Delta t=0-\Delta m\cdot v$，由题意可知，$F=83.3$ N；而 $\Delta mg\ll F$，所以上式可变式为：$mg-F=-0.7v$，代入数据解得：$v=14$ m/s。

点睛　本题考查对动量定理的应用的掌握，对于连续介质产生的作用力，往往要取极短时间的物质为研究对象，运用动量定理求解。本题可取极短时间内注入杯中的水为研究对象，列动量定理式，即可求得注入水流的速度。

2. BC

解析　地面光滑，系统动量守恒。设小物块开始运动时离弹簧右端距离为 L，恰好停在长木板右端时系统有共同速度，设为 v'，以向左为正方向，由动量守恒定律得：$mv=(M+m)v'$，由能量守恒定律得：$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}(M+m)v'^2+2\mu mgL$，解得：$L=\frac{Mv^2}{4\mu(M+m)g}$。可见 L 与弹簧的劲度系数无关，改变劲度系数，物块仍能回到右端；由 $L=\frac{Mv^2}{4\mu(M+m)g}$ 可知，减小木板质量 M、增大物块质量 m、减小物块的初速度 v，物块都不会滑出木板，故 A、D 错误，B、C 正确。故选 BC。

点睛　本题考查了动量守恒定律和能量守恒定律。判断哪些情况下物块仍就不会滑出木板，应先讨论刚好不会滑出时木板的长度与 M、m、v、k 的大小关系，再对各选项作出判断。

3. AD

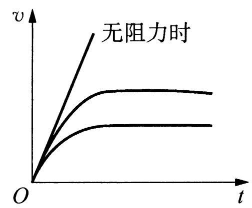
解析　由图可知，从 0 时刻到 t_1 时刻，A 物块压缩弹簧，受到弹簧向左的弹力减速，B 受到向右的弹力加速，但 A 速度大于 B 的速度，A、B 之间的距离在缩小，即弹簧被压缩，直到 t_1 时刻两物体速度相等，都是 1 m/s；从 t_1 时刻到 t_2 时刻，弹簧处于压缩状态，A 物块受到弹簧的向左的弹力先减速后反向加速，B 受到向右的弹力加速，弹簧到达原长时，A、B 的速度分别达到 -1 m/s 和 2 m/s；从 t_2 到 t_3 过程中，由于惯性，A、B 向相反方向运动并拉伸弹簧，弹簧处于拉伸状态，A 物块受到弹簧的向右的弹力先向左减速后向右加速，B 受到向左的弹力减速，A、B 之间距离增大，弹簧被拉长，直到 t_3 时刻，A、B 速度相同，弹簧伸到最长，故 A、B 在 t_3 时刻相距最远，选项 B 错误，D 正确。在 t_1、t_3 时刻弹簧分别处于压缩和拉伸状态，但形变量相等，故物块 A 在 t_1 与 t_3 两个时刻加速度大小相等，但方向相反，故 C 错误。0 时刻系统动量为 $(m_1\times 3+0)$，t_2 时刻系统动量为 $[m_1\times(-1)+m_2\times 2]$，根据动量守恒得：$2m_1=m_2$，选项 A 正确。故选 AD。

4. (1) $W=mgh-\frac{1}{2}mu^2$　(2) a. $v_m=\sqrt{\frac{4\pi r\rho g}{3k}}$　b. ①　如答图所示　(3) 见解析

解析　(1) 由动能定理得：$mgh-W=\frac{1}{2}mu^2$ 得：$W=mgh-\frac{1}{2}mu^2$。

(2) a. $mg = f$ 时，水滴的速度最大，即：$\frac{4}{3}\pi r^3\rho g = kr^2 v_m^2$，化简得：$v_m = \sqrt{\frac{4\pi r\rho g}{3k}}$；

b. 由 $v_m = \sqrt{\frac{4\pi r\rho g}{3k}}$ 和 $v-t$ 图线可知，$v_{1m} > v_{2m}$，说明 $r_1 > r_2$，所以 ① 对应半径为 r_1 的雨滴。若雨滴无初速度，其 $v-t$ 图线如答图所示。



第 4 题答图

(3) 大量分子对圆盘的碰撞即为空气对圆盘的阻力。圆盘在运动中 t 时间内碰到的分子个数为：$N = vtSn$，设气体分子碰撞圆盘时的速率为 v_0，对圆盘的上表面用动量定理：$f_1 t = Nm_0(v_0 - v)$，对圆盘的下表面用动量定理：$f_2 t = Nm_0(v_0 + v)$，$f = f_2 - f_1 = 2Snm_0 v^2$，故 $f \propto v^2$。即空气阻力与下落的速度平方成正比。

点睛 本题以雨滴下落为背景素材，充分考查了考生的模型建构能力、科学推理论证能力以及宏、微观结合的思想方法。试题先后涉及两种模型，分别是第(2)问将雨滴简化为球体模型求其下落的终极速度，第(3)问将雨滴简化为圆盘模型，证明其下落过程中的阻力与速度平方成正比。试题将宏观的空气阻力与微观视角的空气分子与圆盘碰撞相结合，很好地体现了宏观与微观相结合的思想方法。

5. (1) 3.0 m/s (2) 4.25 m/s

解析 (1) 设 B 车的质量为 m_B，碰后加速度大小为 a_B。根据牛顿第二定律有：$\mu m_B g = m_B a_B$ ①，式中 μ 是汽车与路面间的动摩擦因数。设碰撞后瞬间 B 车速度的大小为 v_B'，碰撞后滑行的距离为 s_B。由运动学公式有：$v_B'^2 = 2a_B s_B$ ②，联立①②式并利用题给数据得：$v_B' = 3.0$ m/s ③。

(2) 设 A 车的质量为 m_A，碰后加速度大小为 a_A，根据牛顿第二定律有：$\mu m_A g = m_A a_A$ ④，设碰撞后瞬间 A 车速度的大小为 v_A'，碰撞后滑行的距离为 s_A，由运动学公式有：$v_A'^2 = 2a_A s_A$ ⑤，设碰撞前的瞬间 A 车速度的大小为 v_A。两车在碰撞过程中动量守恒，有：$m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$ ⑥，联立③④⑤⑥式并利用题给数据得：$v_A = 4.25$ m/s。

6. (1) $\frac{1}{g}\sqrt{\frac{2E}{m}}$ (2) $\frac{2E}{mg}$

解析 (1) 设烟花弹上升的初速度为 v_0，由题给条件有：$E = \frac{1}{2}mv_0^2$ ①，设烟花弹从地面开始上升到火药爆炸所用的时间为 t，由运动学公式有：$0 - v_0 = -gt$ ②，联立①②式得：$t = \frac{1}{g}\sqrt{\frac{2E}{m}}$ ③。

(2) 设爆炸时烟花弹距地面的高度为 h_1，由机械能守恒定律有：$E = mgh_1$ ④，火药爆炸后，烟花弹上、下两部分均沿竖直方向运动，设爆炸后瞬间其速度分别为 v_1 和 v_2。由题给条件和动量守恒定律有：$\frac{1}{4}mv_1^2 + \frac{1}{4}mv_2^2 = E$ ⑤，$\frac{1}{2}mv_1 + \frac{1}{2}mv_2 = 0$ ⑥，由⑥式知，烟花弹两部分的速度方向相反，向上运动部分做竖直上抛运动。设爆炸后烟花弹向上部分继续上升的高度为 h_2，由机械能守恒定律有：$\frac{1}{4}mv_1^2 = \frac{1}{2}mgh_2$ ⑦，联立④⑤⑥⑦式得，烟花弹向上运动部分距地面的最大高度为：$h = h_1 + h_2 = \frac{2E}{mg}$。

7. C

解析 在“天舟一号”和“天宫二号”对接的过程中水平方向动量守恒，$M(v+\Delta v) + mv = (M+m)v'$，解得对接后两者的共同速度 $v' = v + \frac{M\cdot\Delta v}{M+m}$，以“天宫二号”为研究对象，根据动量定理有 $F\cdot\Delta t = mv' - mv$，解得 $F = \frac{Mm\cdot\Delta v}{(M+m)\Delta t}$，选项 C 正确。

8. BCD

解析 设 A 球的悬绳长度为 L，下摆至最低点的过程中机械能守恒：$mgL(1-\cos 60^\circ)=\frac{1}{2}mv_A^2$，解得：$v_A=\sqrt{gL}$，选项A错误；两球碰撞，水平方向动量守恒：$mv_A=mv_A'+mv_B$，碰撞过程机械能守恒：$\frac{1}{2}mv_A^2=\frac{1}{2}mv'^2_A+\frac{1}{2}mv_B^2$，联立得：$v_A'=0$，$v_B=\sqrt{gL}$，选项B正确；在最低点时两球的角速度分别为：$\omega_A=\frac{v_A}{L}$，$\omega_B=\frac{v_B}{\frac{L}{2}}$，可得：$\omega_A:\omega_B=1:2$，选项C正确；在最低点对两球用牛顿第二定律：$F_A-mg=m\frac{v_A^2}{L}$，$F_B-mg=m\frac{v_B^2}{\frac{L}{2}}$，可得：$F_A:F_B=2:3$，选项D正确。选BCD。

9. (1) $2\sqrt{\frac{gh}{3}}$ (2) $M>3m$

解析 (1) 小球到达弧形槽 A 底端时速度最大。设小球到达弧形槽 A 底端时速度大小为 v_1，槽 A 的速度大小为 v_2。小球与弧形槽 A 组成的系统在水平方向动量守恒，以水平向右为正方向，小球下滑过程中，由动量守恒定律得：$mv_1-2mv_2=0$，由机械能守恒定律的：$mgh=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}\cdot 2mv_2{}^2$，联立解得：$v_1=2\sqrt{\frac{gh}{3}}$，$v_2=\sqrt{\frac{gh}{3}}$。即小球的最大速度为 $2\sqrt{\frac{gh}{3}}$。

(2) 小球冲上弧形槽 B 后，上滑到最高点后再返回分离，设分离时小球速度反向，大小为 v_3，弧形槽 B 的速度为 v_4。整个过程二者水平方向动量守恒，则有：$mv_1=-mv_3+Mv_4$，二者的机械能守恒，则有：$\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_3^2+\frac{1}{2}Mv_4^2$，可得：$v_3=\frac{M-m}{M+m}v_1$，小球还能追上 A，须有 $v_3>v_2$。解得 $M>3m$。

点睛 本题分析清楚小球和槽的运动过程是解题的前提与关键，要知道小球从槽 A 上滑下和冲上槽 B 的过程中，系统水平方向动量守恒，总动量不守恒，系统的机械能也守恒。小球到达弧形槽 A 底端时速度最大。小球冲上弧形槽 B 后，上滑到最高点后再返回与 B 分离，小球从 B 上滑下后还能追上 A，小球离开槽 B 的速度应大于 A 的速度，由此列式解答。

10. AD

解析 M 和 m 一起下落过程，根据机械能守恒得：$(M+m)gh=\frac{1}{2}(M+m)v_0^2$，解得：$v_0=2\text{ m/s}$，选项A正确；$M$ 碰撞支架后以 v_0 返回做竖直上抛运动，m 向下做匀加速运动。在绳绷紧瞬间，M 速度为 v_1，上升高度为 h_1，m 的速度为 v_2，下落高度为 h_2。设经过时间 t 绳子绷紧，则：$h_1=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$，$h_2=v_0t+\frac{1}{2}gt^2$，又：$h_1+h_2=0.4\text{ m}$，得到：$h_1+h_2=2v_0t$，解得：$t=0.1\text{ s}$，选项B错误；$v_1=v_0-gt=(2-10\times0.1)\text{m/s}=1\text{ m/s}$，$v_2=v_0+gt=(2+10\times0.1)\text{m/s}=3\text{ m/s}$，绳子绷紧过程，取向下为正方向，根据动量守恒得：$mv_2-Mv_1=(M+m)v$，令 $\frac{M}{m}=k$，则：$v=\frac{v_2-kv_1}{k+1}=\frac{3-k}{k+1}$。

可见：①$k=3$ 时，$v=0$，两板瞬时速度为零，接着再自由下落，选项C错误；②$k<3$ 时，$v>0$，两板速度方向向下，③$k>3$ 时，$v<0$，两板速度方向向上，选项D正确。选AD。

11. (1) $\frac{340}{9}\text{ N}$ 方向：竖直向下 (2) 0.3 (3) 不能 $\frac{25}{32}\text{ m}$

解析 (1) 小物块 A 到 C 做平抛运动，由题意可知：$v_C=\frac{v_0}{\cos 60^\circ}=2v_0=4\text{ m/s}$ ①，对小物块从 C 到 D 分析，根据动能定理有：$mgR(1-\cos 60^\circ)=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$ ②，对小物块在 D 分析，根据向心力公式有：$F_N-mg=m\frac{v_D^2}{R}$ ③，由①②③式联立可解 $v_D=5\text{ m/s}$，$F_N=\frac{340}{9}\text{ N}$，根据牛顿第三定律 $F_N'=F_N=\frac{340}{9}\text{ N}$，

方向竖直向下。

(2) 对小物块在木板上分析，根据动能定理有：$-\mu(mg-qE)L=0-\frac{1}{2}mv_D^2$，解得：$\mu=0.3$。

(3) 假设小物块不能从木板左端滑出，对小物块与木板组成的系统分析，根据动量守恒定律有：$mv_D=(m+M)v_{共}$④，根据能量守恒定律有：$\mu mg\Delta l=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}(m+M)v_{共}^2$⑤，由④⑤式联立可解得：$v_{共}=\frac{5}{4}$ m/s，$\Delta l=\frac{25}{8}$ m $<\frac{25}{4}$ m。假设成立，对木板分析，根据动能定理有：$\mu mgx=\frac{1}{2}Mv_{共}^2-0$，解得：$x=\frac{25}{32}$ m。故小物块与木板刚保持相对静止时，木板右端与 D 点的距离为$\frac{25}{32}$ m。

12. BD

解析 小物块上升到最高点时，速度与楔形物体的速度相同，二者组成的系统在水平方向上动量守恒，全过程机械能也守恒。以向右为正方向，在小物块上升过程中，由水平方向系统动量守恒得 $mv_0\cos\theta=(m+M)v$，故 A 错误，B 正确；系统机械能守恒，由机械能守恒定律得 $mgh+\frac{1}{2}(m+M)v^2=\frac{1}{2}mv_0^2$，故 C 错误。D 正确。选 BD。

13. (1) 4 m/s (2) 1 J (3) 3.25 m/s

解析 (1) 小球下落到最低点时的速度为 v_0，根据动能定理可得：$\frac{1}{2}mv_0^2=mgh$，解得：$v_0=5$ m/s，小球与小车碰撞过程中，动量守恒，故有：$mv_0=Mv$，解得：$v=4$ m/s 所以小车碰撞后瞬间的速度 $v=4$ m/s 。

(2) 小车和小球碰撞过程中损失的机械能为：$\Delta E=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}Mv^2$，代入数据可得：$\Delta E=1$ J。

(3) 假设 m' 最终能与 M 一起运动，由动量守恒定律得：$Mv=(M+m')v_1$，解得：$v_1\approx 3$ m/s，m' 以 $v_1=3$ m/s 速度运动时受到的向上洛伦兹力：$f=BQv_1=2\times0.3\times3$ N $=1.8$ N $>m'g=1.5$ N，所以 m' 在还未到 $v_1\approx3$ m/s 时已与 M 分开了。由上面分析可知当 m' 的速度为 $v_2=\frac{m'g}{BQ}=\frac{0.15\times10}{2\times0.3}$ m/s $=2.5$ m/s 时便与 M 分开了，根据动量守恒定律可得方程：$Mv=Mv_2'+m'v_2$ 解得：$v_2'=\frac{0.5\times4-0.15\times2.5}{0.5}$ m/s $=3.25$ m/s。

14. (1) 3 m/s 方向水平向右 (2) 43 N 方向竖直向下 (3) 5.5 m 方向水平向左 $\frac{2}{3}\sqrt{33}$ s

解析 (1) 对小物块由 A 到 B 有：$v_y^2=2gh$，在 B 点：$\tan\theta=\frac{v_y}{v_1}$，解得：$v_1=3$ m/s，故小物块离开 A 点的水平初速度 v_1 为 3 m/s，方向水平向右。

(2) 由 A 到 O，根据动能定理有：$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}mv_1^2+mg\cdot(h+R-R\cos\theta)$，在 O 点：$F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$ 解得：$v=\sqrt{33}$ m/s，$F_N=43$ N，根据牛顿第三定律，小物块经过 O 点时对轨道的压力大小为：$F_N'=F_N=43$ N，方向竖直向下。

(3) 摩擦力 $f=\mu mg=1$ N，物块滑上小车后，滑块减速运动，加速度大小为 $a_m=\frac{f}{m}=1$ m/s^2；小车加速运动，加速度大小为 $a_M=\frac{f}{M}=\frac{1}{2}$ m/s^2；经过时间 t 达到的共同速度为 v_t，则：$t=\frac{v_t}{a_M}=\frac{v-v_t}{a_m}$，得：$v_t=\frac{\sqrt{33}}{3}$ m/s。由于碰撞不损失能量，物块在小车上重复做匀减速和匀加速运动，相对小车始终向左运动，与小车一起最终静止，摩擦力做功使动能全部转化为内能，故有：$f\cdot s_{相}=\frac{1}{2}(M+m)v_t^2$，得 $s_{相}=5.5$ m。小车从与物块碰撞后开始一直做匀减速运动，加速度不变：$a_M=\frac{f}{M}=\frac{1}{2}$ m/s^2，$v_t=a_Mt$，得 $t=\frac{2}{3}\sqrt{33}$ s，

故第一次碰撞后直至静止，物块相对小车的位移为 5.5 m，方向水平向左，小车做匀减速运动的总时间为 $\frac{2}{3}\sqrt{33}$ s。

点睛 (1) 利用平抛运动规律，在 B 点对速度进行正交分解，得到水平速度和竖直方向速度的关系，而竖直方向速度由 $v_y^2 = 2gh$ 求得，则水平速度可解。

(2) 首先利用动能定理解决物块在最低点的速度问题，然后利用牛顿第二定律在最低点表示出向心力，则滑块受到的弹力可解。根据牛顿第三定律可求对轨道的压力。

(3) 第一次碰撞后，滑块以原速率返回，小车减速，当滑块速度减为零后反向加速时，小车仍然减速，直到两者速度相同，一起向右；之后重复这个过程，小车与滑块有相对滑动的过程中，小车一直匀减速；根据功能关系列式求相对运动路程，根据速度时间关系公式求解小车的减速时间。

15. (1) 1.125 m (2) 1.75 s

解析 (1) 由于冲量作用，m_1 获得的速度为 $v = \frac{I}{m_1} = 3\ \text{m/s}$，金属盒所受摩擦力为：$F = \mu(m_1 + m_2)g = 4\ \text{N}$，由于金属盒与金属球之间的碰撞没有能量损失，且金属盒和金属球的最终速度都为 0，以金属盒和金属球为研究对象，由动能定理得：$-Fs = 0 - \frac{1}{2}m_1 v^2$，解得：$s = 1.125\ \text{m}$。

(2) 因 $r = 0.1\ \text{m}$，则当盒前进 $s_1 = 1\ \text{m}$ 时与球发生碰撞，设碰前盒的速度为 v_1，碰后速度为 v_1'，球碰后速度为 v_2，则对盒应用动能定理：$-Fs_1 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 - \frac{1}{2}m_1 v^2$，解得 $v_1 = 1\ \text{m/s}$。由于碰撞中动量守恒、机械能守恒，有：$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2$，$\frac{1}{2}m_1 v_1^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$，联立以上方程得：$v_1' = 0$，$v_2 = 1\ \text{m/s}$。当球前进 1 m 时与盒发生第二次碰撞，碰撞前球的速度为 1 m/s，盒子的速度为 0，碰撞后球的速度为 0，盒子的速度变为 $v_2 = 1\ \text{m/s}$，以金属盒为研究对象，利用动能定理得：$-Fs_2 = 0 - \frac{1}{2}m_1 v_2^2$，解得：$s_2 = 0.125\ \text{m}$。所以不会再与球碰，则盒子运动时间可由动量定理给出。设盒子前进 $s_1 = 1\ \text{m}$ 所用时间为 t_1，前进 $s_2 = 0.125\ \text{m}$ 所用时间为 t_2，则：$-Ft_1 = m_1 v_1 - m_1 v$，$-Ft_2 = 0 - m_1 v_2$，且 $v_1 = v_2 = 1\ \text{m/s}$，代入数据得：$t_1 = 0.5\ \text{s}$，$t_2 = 0.25\ \text{s}$，在盒两次运动之间还有一段时间 t_3 为小球在运动，$t_3 = \frac{s_1}{v_2} = 1\ \text{s}$，则金属盒从开始运动到最后静止所经历的时间：$t = t_1 + t_2 + t_3 = 1.75\ \text{s}$。

点睛 本题有两点要注意：一是小球不是质点；二是球与金属盒的碰撞是弹性正碰，每次碰撞都发生速度交换（碰撞的时间忽略不计）。金属球在盒内运动时，系统动量不守恒（地面不光滑）。

专题八 恒定电流电路分析

1. AB

解析 有磁铁靠近 A 时，其阻值增大，根据闭合电路的欧姆定律可知，电路中的电流将减小，电流表的示数减小，故 A 正确；电路中的电流减小，则电路的路端电压增大，所以电压表的示数增大，电容器两端的电压增大，根据：$Q = CU$ 可知电容器 C 的电荷量增大，故 B 正确、C 错误；电路中的电流减小，由 $P = I^2 r$ 知电源内部消耗的功率将减小，故 D 错误。选 AB。

考点：闭合电路的欧姆定律。

点睛 抓住有磁铁靠近 A 时其阻值增大的特点，还可利用"串反并同"直接判断两电表示数变化，然后结合电路的关系判断电容器 C 的电荷量的变化。

2. D

解析 已知电路电流，由于不知电源电动势，无法求出整个电路消耗的电功率，故 A 错误；因灯泡正常发光，所以电路中电流 $I = \frac{P_L}{U_L} = 2\ \text{A}$，故电动机热功率：$P_{热} = I^2 R_M = 2\ \text{W}$，所 B 错误；根据题意知电动机电

压为 $U_M = U - U_L = 6\ V$，电动机的输出功率 $P_{出} = U_M I - P_{热} = 10\ W$，故 C 错误；输入功率为 $P_{入} = U_M I = 12\ W$，所以 D 正确。

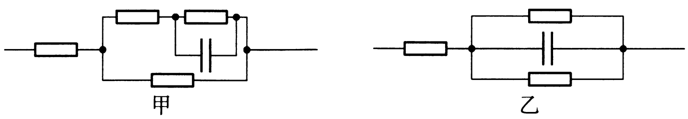
点睛 本题考查非纯电阻电路中电功、电热的计算。注意不能对电动机使用欧姆定律。

3. D

解析 滑片 P 由滑动变阻器的左端向右端滑动的过程中，滑动变阻器 R 的左半部分与 R_1 串联然后与 R 的右半部分并联，并联电阻先变大后变小，所以电路总电阻先变大后变小，根据闭合电路欧姆定律，I_2 先变小后变大，U_1 先变大后变小，由极限法可得当滑片 P 滑到滑动变阻器右端时，电流表 A_1 把 R_1 所在支路短路，此时 I_1 最大，所以 I_1 一直增大，选项 A、B 错误；对于 C 项，$\frac{\Delta U_1}{\Delta I_2}$ 的绝对值等于电源的内阻，保持不变；$\frac{\Delta U_2}{\Delta I_2}$ 的绝对值等于 R_2，保持不变，所以选项 C 错误；电阻 R_2 不变，电压表 V_2 的示数 $U_2 = I_2 R_2$，U_2 先变小后变大，选项 D 正确。选 D。

4. C

解析 电路中四个电阻阻值相等，开关 S 断开时，外电路的连接等效为图甲所示电路，由于不计电池的内阻，设每个定值电阻的阻值为 R，根据串并联电路的特点可知，电容器两端的电压为 $U_1 = \frac{1}{2} \times \frac{\frac{2}{3}R}{\frac{2}{3}R + R}E = \frac{1}{5}E$；当开关 S 闭合后，外电路的连接等效为图乙所示电路，则电容器两端的电压为 $U_2 = \frac{\frac{1}{2}R}{\frac{1}{2}R + R}E = \frac{1}{3}E$，由 $Q = CU$ 可知，$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3}{5}$，C 项正确。



第 4 题答图

5. AC

解析 开关 S 闭合后，外电路的总电阻为 $R = 10\ \Omega$，路端电压 $U = \frac{E}{R+r}R = \frac{12}{12} \times 10\ V = 10\ V$，A 项正确；电源的总功率 $P = \frac{E^2}{R+r} = 12\ W$，B 项错误；由于两条支路的电流均为 $I' = \frac{10}{20}\ A = 0.5\ A$，因此 a、b 两点间的电压为 $U_{ab} = 0.5 \times (15 - 5) V = 5.0\ V$，C 项正确；$a$、$b$ 两点用导线连接后，外电阻 $R' = 2 \times \frac{5 \times 15}{5 + 15}\ \Omega = 7.5\ \Omega$，因此电路中的总电流 $I = \frac{E}{R' + r} = \frac{12}{9.5}\ A = 1.26\ A$，D 项错误。故选 AC。

6. BC

解析 根据题意，由于电源不计内阻，从图示判断出电压表示数不变，A 错误；滑片 P 由 a 端滑到 b 端的过程中，R_1 的阻值先增大后减少，电压不变，故电流表示数先减少后增大，B、C 正确；由于电压表示数没有变化，故 D 错误。选 BC。

点睛 本题考点是欧姆定律、闭合电路欧姆定律、电路动态分析。解题技巧：注意电源不计内阻，故电压表示数不变，再分析滑片滑动过程中电阻变化，根据欧姆定律可以分析电流表示数，进而分析其余选项的正误。

7. (1) 减小 (2) 1.00(0.98、0.99、1.01 均正确) (3) 5

解析 (1) 滑动触头向下移动时，R_L 阻值减小，则总电阻减小，电压变小，则电压表读数变小。

(2) 由电路图可知：$I_0 = I + \frac{U}{R}$，即：$U = I_0R - IR$，由U-I图线可知，$I_0R = 20\ \text{V}$；$R = k = \frac{20}{1.0}\ \Omega = 20\ \Omega$，则 $I_0 = 1.00\ \text{A}$。

(3) R_L 消耗的功率为 $P = IU = 20I - 20I^2$，则当 $I = 0.5\ \text{A}$ 时，功率的最大值为 $P_m = 5\ \text{W}$。

8. ACD

解析 滑动变阻器的滑片 P 向左移动一段距离，总电阻增大，电流减小，内压减小，路端电压增大，所以电流表的示数减小，电压表的示数增大，D 正确；灯 L 中的电流减小，灯泡 L 变暗，C 正确；当外电阻等于电源的内阻时，电源的输出功率最大，外电阻比电源的内阻大得越多，电源的输出功率越小，所以滑片左移，电源的输出功率变小，B 错误；电流减小，电源内部和灯泡两端的电压减小，则 R 两端的电压增大，电容器上的电荷量增大，A 正确。选 ACD。

9. AD

解析 当吹热风时，电热丝消耗的电功率为 $P = (1000 - 120)\text{W} = 880\ \text{W}$，电阻丝消耗的电能全部转化为热能，所以根据公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 可得电热丝的电阻：$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{880}\ \Omega = 55\ \Omega$，A 正确；由于电动机是非纯电阻，所以电流所做的功不全部转化为电热，所以电功率不等于发热功率，由于不知道电动机的发热功率，所以不能求出电动机的电阻，B错误；当电吹风吹冷风时，S_1 断开，S_2 接通，所以电热丝不工作，不消耗电能，C 错误；当电吹风吹热风时，电动机的功率是 120 W，所以电动机每秒钟消耗的电能为 120 J，D 正确。选 AD。

10. $\frac{U_1}{I_1} - \frac{U_2}{I_2}$

解析 根据实验原理可知：当 S_2 合向 2 时有：$R_x + R_A + R_P = \frac{U_1}{I_1}$，当 S_2 合向 1 时有：$R_A + R_1 = \frac{U_2}{I_2}$，所以有：$R_x = \frac{U_1}{I_1} - \frac{U_2}{I_2}$。

11. CD

解析 由于静电计的两个电极是彼此绝缘的，电压表是由电流表改装成的，电路稳定后，电路中没有电流，电压表两端没有电压，而电容器 C_2 充电，两端存在电压。所以电压表两端的电势差小于静电计两端的电势差，故 A 错误；电路稳定后，电容器 C_2 的电压等于电源的电动势，保持不变，将变阻器滑动触头 P 向右滑动，电容器 C_2 的电压不变，电量不变，故 B 错误；由于电压表两端没有电压，电容器 C_1 没有被充电，电量为零，故 C 正确；将电键打开，电容器的电量 Q 不变，板间距离增大，电容减小，由公式 $C = \frac{Q}{U}$ 分析可知，板间电压增大，静电计张角增大，故 D 正确。选 CD。

点睛 静电计的两个电极是彼此绝缘的，电压表是由电流表改装成的，电路稳定后，电路中没有电流，电压表两端没有电压，电容器 C_1 不带电。电路稳定后，电容器 C_2 的电压等于电源的电动势。

12. ABD

解析 U-I 图线与 U 轴交点表示电路处于断路状态，则电源的电动势 $E = U = 50\ \text{V}$。电源的内阻等于图线斜率绝对值大小，则有 $r = \left|\frac{\Delta U}{\Delta I}\right| = \frac{50 - 25}{5}\ \Omega = 5\ \Omega$，故 A、B 正确；电池组的输出电压为 45 V 时，内电压为 5 V，故电流为$\frac{5\ \text{V}}{5\ \Omega} = 1\ \text{A}$，故输出功率为：$P = UI = 45\ \text{V} \times 1\ \text{A} = 45\ \text{W}$，故 C 错误；电池组的输出功率为 120 W 时，由 P-I 图线读出电流 $I = 4\ \text{A}$，故电路消耗的总功率为 $P = EI = 50\ \text{V} \times 4\ \text{A} = 200\ \text{W}$，故 D 正确。

13. ACD

解析 调整 R 的阻值，使电流表的示数增大 ΔI，那一定是 R 变小了。R_2 和内电路的总电压将增大，并联支路的电压减小，因此通过 R_1 的电流减小，通过 R 的电流增大，两个支路的总电流增加量为 ΔI，通过 R 的电流增加量大于 ΔI，所以选项 A 正确、B 错误；R_2 阻值不变，两端的电压增大，故电压增加量为 ΔIR_2，选项 C

正确;并联支路电压的减小量等于 $\Delta I(R_2+r)$,故 R_1 两端电压减小量大于 ΔIR_2,选项 D 正确。选 ACD。

14. C

解析 图中等效电路为灯泡 L_2 与 L_3 并联后与灯泡 L_1 串联,电压表 V_1 的示数为 4 V,由 $U-I$ 图象得到其电流为 0.6 A,由并联特点得另外两个灯泡的电流均为 0.3 A,再根据 $U-I$ 图象得到其电压为 1 V,故电压表 V_2 的示数为 1.0 V,电流表 A_2 的示数为 0.30 A,故选项 AB 错误;路端电压为 $4\ V+1\ V=5\ V$,干路电流为 0.6 A,故输出功率为 $P=UI=5\times0.6\ W=3\ W$,故 C 正确;路端电压为 $U=E-Ir$,只有一组数据,无法求解电动势和内电阻,故 D 错误。选项 C。

专题九　电场与磁场

1. ABC

解析 根据库仑定律,可知两点电荷间的相互作用力的大小与点电荷的电量及两点电荷的间距有关。小球远离带正电的 A 球,说明细线悬挂的小球带正电,悬挂的小球离带正电的 A 球越远,受到的作用力越小,同种电荷距离越近排斥作用越强,所以,电荷之间的相互作用跟距离有关,且电荷间的作用力大小随电荷间距离的增大而减小,选项 A 正确;根据对小球受力分析,由受力平衡条件可知,当绳子与竖直方向夹角越大时,拉力越大,选项 B 正确;在同一位置,增加小球所带电量而电性仍为正,导致库仑力增大,则绳子与竖直方向夹角也增大,选项 C 正确;在同一位置,将小球所带电性改变为带负电而电量不变,库仑力的方向相反,导致间距变小,则库仑力的大小变大,因此绳子与竖直方向夹角大于带正电时绳子与竖直方向的夹角,选项 D 错误。故选 ABC。

点睛 控制变量法是高中物理中重要的研究方法,本题考查了解控制变量法和库仑定律的应用,同时也考查了受力平衡与力的平行四边形定则的应用。

2. D

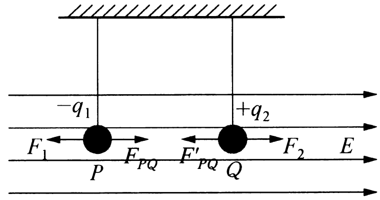
解析 根据题意可知带负电的尘埃在电场力的作用下向集尘极迁移,则知集尘极带正电荷,是正极,所以电场线方向由集尘极指向放电极,故 A 错误;集尘极带正电荷,A 点更靠近放电极,所以图中 A 点电势低于 B 点电势,故 B 错误;由图可知放电极与集尘极间为非匀强电场,所以尘埃所受的电场力是变化的,尘埃不可能做匀变速运动,故 C 错误;带电尘埃所受的电场力方向与位移方向相同,电场力做正功,所以在迁移过程中电势能减小,故 D 正确。选 D。

3. C

解析 洛伦兹力方向总是与物体速度方向垂直,故洛伦兹力不做功。小球在垂直于管的方向随圆管做匀速运动(设速度为 v_x),则小球受一个沿管向管口的大小恒定的洛伦兹力 $f_x=qv_xB$,所以小球将沿管向管口方向做匀加速运动,速度 $v_y=a_yt$,可见小球做类平抛运动,且洛伦兹力 f 不做功,选 C 正确。

4. D

解析 根据 P、Q 的平衡状态可知两电荷水平方向的受力平衡。对 P、Q 任意一个电荷,库仑力都和电场力等大反向。对选项 AB:由受力分析可知,P 和 Q 两小球,不能带同种电荷,A、B 错误;对选项 CD:若 P 球带负电,Q 球带正电,受力如答图所示,恰能满足题意,则 C 错误、D 正确,故本题选 D。

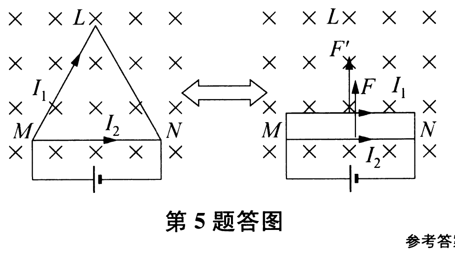


第 4 题答图

点睛 可假设 P、Q 同性和异性两种情况进行讨论,可推出两电荷异性相互吸引,再从电场力与电场线方向关系,可得出答案。

5. B

解析 设每一根导体棒的电阻为 R,长度为 L,则电路中上下两支路电阻之比为:$R_1:R_2=2R:R=2:1$,根据并联电路两端各电压相等的特点可知,上下两路电流之比 $I_1:I_2=1:2$。如答图所示,由于通电的导体上条支路受安培力的有



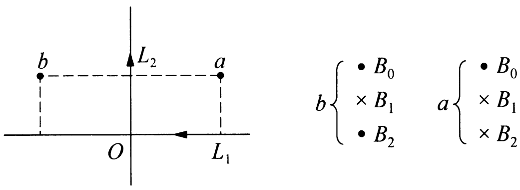
第 5 题答图

效长度也为 L，根据安培力计算公式 $F=ILB$ 可知：$F':F=I_1:I_2=1:2$，得：$F'=\frac{1}{2}F$，根据左手定则可知，两力方向相同，故线框 LMN 所受的合力大小为：$F+F'=\frac{3}{2}F$。选 B。

6. A

解析 对 A 项：实验前，用带电玻璃棒与电容器 a 板接触，由于静电感应，从而在 b 板感应出等量的异种电荷，使电容器带电，A 正确；对 B 项：实验中，只将电容器 b 板向上平移，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 及 $U=\frac{Q}{C}$，S 减小，C 减小，U 增大，静电计指针的张角变大，B 错误；对 C 项：实验中，只在极板间插入有机玻璃板，根据 $C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$ 及 $U=\frac{Q}{C}$，ε 变大，C 变大，U 减小，静电计指针的张角变小，C 错误；对 D 项：实验中，只增加极板带电量，静电计指针的张角变大，不表明电容增大，D 错误。选 A。

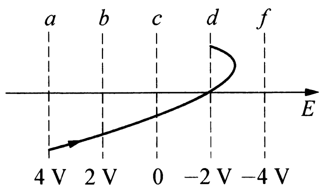
7. AC



第 7 题答图

解析 已知匀强外磁场的磁感应强度大小是 B_0，方向垂直于纸面向外，a、b 两点的磁感应强度大小分别为 $B_a=\frac{1}{3}B_0$ 和 $B_b=\frac{1}{2}B_0$，方向均垂直于纸面向外。根据安培定则知，L_1 导线在 a、b 点产生的磁感应强度方向向内；L_2 导线在 b 点产生的磁感应强度方向向外，在 a 点产生的磁感应强度方向向内；设 L_1 在 a、b 点产生的磁场的磁感应强度大小为 B_1，L_2 在 a、b 点产生的磁场的磁感应强度大小为 B_2；各磁场方向如答图所示。由题意知，在 b 点：$\frac{1}{2}B_0=B_0-B_1+B_2$，在 a 点：$\frac{1}{3}B_0=B_0-B_1-B_2$，由上述两式解得 $B_1=\frac{7}{12}B_0$，$B_2=\frac{1}{12}B_0$，A、C 项正确。

8. AB



第 8 题答图

解析 因等势面间距相等，由 $U=Ed$ 得相邻虚线之间电势差相等，由 a 到 d，由 $eU_{ad}=-6\ \text{eV}$，得：$U_{ad}=6\ \text{V}$，故 $U_{bc}=2\ \text{V}$。各虚线电势如图所示，因电场力做负功，故电场方向向右，沿电场线方向电势降低，$\varphi_c=0$，选项 A 正确；因电子的速度方向未知，若不垂直于等势面，如答图中实线所示，电子可能到达不了平面 f，选项 B 正确；经过 d 时，电势能 $E_p=e\varphi_d=2\ \text{eV}$，选项 C 错误；由 a 到 b，$W_{ab}=E_{kb}-E_{ka}=-2\ \text{eV}$，所以 $E_{kb}=8\ \text{eV}$，由 a 到 d，$W_{ad}=E_{kd}-E_{ka}=-6\ \text{eV}$，所以 $E_{kd}=4\ \text{eV}$，则 $E_{kb}=2E_{kd}$，根据 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 知：$v_b=\sqrt{2}v_d$，选项 D 错误。故选 AB。

9. C

解析 由于不知粒子电性，无法确定电场强度的方向，因此无法比较电势的高低，故 A 错误；由 $v-t$ 图象的斜率表示加速度可知，粒子的加速度关系为：$a_B>a_C>a_A$，根据牛顿第二定律得：$qE=ma$，可得：$E_B>E_C>E_A$，故 B 错误；由图象可知，粒子从 A 点经 B 点运动到 C 点速度先减小后增大，所以动能先减小后增大，根据能量守恒定律，电势能应该先增大后减小，故 C 正确；由图象可知，粒子从 A 点经 B 点运动到 C 点速度先减小后增大，根据动能定理可知电场力先做负功，后做正功，故 D 错误。故选 C。

10. BD

解析 对 AB 选项：由图象可知，从坐标轴上 x_1 处运动到 x_2 处电势逐渐升高，说明电场方向水平向左，粒子受到水平向右的电场力，与电场方向相反，故粒子带负电，故 A 错误、B 正确；对 CD 选项：图象的斜率大小等于电场强度可知，粒子从坐标轴上 x_1 处运动到 x_3 处的斜率先减小后增大，故电场强度先减小后增大，则电场力先减小后增大，故加速度先减小后增大，故 C 错误、D 正确。故选：BD。

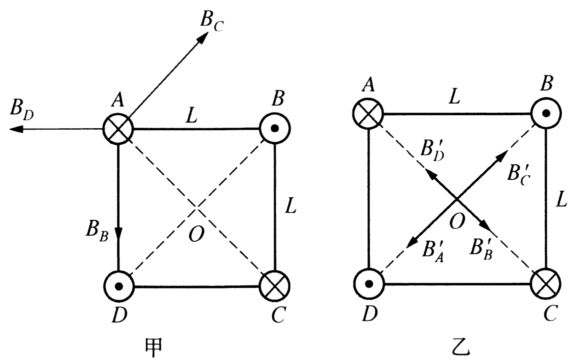
点睛 根据沿着电场线方向电势逐渐降低来判断电场方向；根据电场方向和电场力方向判断粒子电性；根据图象的斜率大小比较电场强度大小，从而比较加速度大小。

11. B

解析 在匀强电场中，由公式 $U=Ed$ 知，沿着任意两平行方向前进相同距离，电势差必定相等，由于 $GF \parallel CB$，且 $GF=CB$，则有 $\varphi_G-\varphi_F=\varphi_C-\varphi_B$，代入数据解得 $\varphi_C=\varphi_G-\varphi_F+\varphi_B=8\text{ V}-3\text{ V}+2\text{ V}=7\text{ V}$，同理，$\varphi_A-\varphi_B=\varphi_D-\varphi_C$，解得 $\varphi_A=\varphi_B+\varphi_D-\varphi_C=2\text{ V}+4\text{ V}-7\text{ V}=-1\text{ V}$，故B正确。

12. ACD

解析 将导线 B、C、D 在导线 A 处的磁场表示出来，如答图甲所示：A 导线所受的磁场力为零，则 A 处的合磁场为零，即：$\sqrt{2}k\dfrac{I_2}{L}=k\dfrac{I_1}{\sqrt{2}L}$，则：$I_1=2I_2$，故选项A正确；同理，将各点的磁场都画出来，可以判断 B、D 导线处的合磁场不为零，故所受的磁场力不为零，故选项B错误；将各导线在 O 点的磁场画出，如答图乙所示，由于 A、C 导线电流相等而且距离 O 点距离相等，则 $B_A'=B_C'$，同理：$B_B'=B_D'$，即正方形中心 O 处的磁感应强度为零，故选项C正确；若移走 A 导线，则磁场 B_A' 不存在，由于 $B_B'=B_D'$，则此时在 O 点的磁场只剩下导线 C 的磁场，而且导线 C 点磁场方向沿 OB 方向，即中心 O 处的磁场将沿 OB 方向，故选项D正确。选ACD。



第12题答图

13. BC

解析 由题意知两个相同的带正电粒子 P、Q 分别从 A、B 两点以相同的初速度运动，且都能从 MN 左侧经过 O 点，电场力对两个粒子都做正功，再由电场线和等势面的垂直关系以及沿着电场线方向电势逐渐降低，可知 B 点的电势 φ_B 高于 A 点的电势 φ_A，B 点与 O 点的电势差大于 A 点与 O 点的电势差，对两个粒子分别运用动能定理有 $qU=\dfrac{1}{2}m(v^2-v_0^2)$，而 $U_{BO}>U_{AO}$，可知两个粒子经过 O 点时的速度 $v_1<v_2$，则选项A错误，B正确；再由电势能公式 $E_p=q\varphi$，知 $E_{p1}<E_{p2}$，则选项C正确，D错误。

14. BC

解析 对选项AB：根据左手定则可知，通电圆环每一部分受到的安培力的方向为斜向下，利用微元法可知该圆环所受安培力的方向为竖直向下，大小为 $2\pi BIR\sin\theta$，故A错误、B正确；

对选项C：若半径为 R 的圆环是一如图中所示方向运动的带电小球所形成的轨迹圆，说明形成的等效电流受到的安培力在竖直方向的分力向上（与重力平衡），故形成的电流应与图示运动方向相反，故小球带负电，C正确；

对选项D：若将闭合导体圆环从图示位置由静止开始释放，在下落过程中穿过线框的磁通量先向下增大后向上减少，根据右手定则可知，环中产生与图示反方向的感应电流，受到的安培力向上，根据牛顿第二定律可知加速度小于 g，故D错误。故选BC。

点睛 利用左手定则判断出安培力的方向；掌握安培力公式 $F = BIL$ 中各物理量的意义，由公式求出环所受安培力大小；理解力的分解法则；了解带电小球的运动会形成等效电流。导体圆环在磁场中运动会受到安培阻力。掌握以上几点便可作出判断。

15. BD

解析 Q_1 和 Q_2 将整个 x 轴分成三个区域：

① $x < 0$，根据点电荷的电场强度公式，$E = k\dfrac{Q}{r^2}$，因为任一点距 Q_1 比距离 Q_2 近，且 $Q_1 > Q_2$，故 Q_1 产生的场强大于 Q_2 产生的场强，合场强水平向左，沿 x 轴负方向，电势零点选在无穷远处，所以在 $x < 0$ 的区域，电势均为正值，故 B 正确；

② $0 < x < 6$ cm，电场水平向右，正负电荷产生的电场均向右，场强沿 x 轴正方向，质子从 $x = 1$ cm 运动到 $x = 6$ cm，电场力做正功，电势能减小，故 C 错误；

③ $x > 6$ cm，设坐标为 x_1 处电场强度为 0，则有：$k\dfrac{Q_1}{x_1^2} = k\dfrac{Q_2}{(x_1 - 6)^2}$，代入数据解得：$x_1 = 9$ cm。在 6 cm $< x < 9$ cm 范围，场强主要取决于 Q_2，方向水平向左，沿 x 轴负方向；在 $x > 9$ cm 处，场强主要取决于 Q_1，方向水平向右，沿 x 轴正方向。综上：场强为 0 的点只有一处即 $x = 9$ cm 处，故 A 错误；在 $0 < x < 6$ cm 及 $x > 9$ cm 处场强沿 x 轴正方向，故 D 正确。选 BD。

专题十 电磁感应与交流电

1. BC

解析 对选项 AB：即烧即用型饮水机更符合当今社会所倡导的健康、低碳、环保的理念，故 B 正确、A 错误；对选项 CD：每次取用等量热水（500 mL，95° C），因烧水量较小，则温热型饮水机（保温状态）更加快捷，方便，故 C 正确、D 错误；选 BC。

点睛 此题是一道电、热综合题，也是联系实际生活的应用题，掌握电功率有关公式，正确判断电路连接关系，联系实际情况进行分析是解答此题的第一步。即烧即用型饮水机功耗小，节约能源。

2. BC

解析 原线圈中电压的有效值 $U_1 = \dfrac{E_m}{\sqrt{2}} = \dfrac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 10$ V，根据$\dfrac{U_1}{U_1} = \dfrac{n_1}{n_2}$，解得 $U_2 = 2$ V，故副线圈中的电流 $I_2 = \dfrac{U_2}{I_2} = 2$ A，电流表的电流为 I_1，则：$\dfrac{I_1}{I_1} = \dfrac{n_2}{n_1}$，解得 $I_1 = 0.4$ A，电流表示数应为有效值，故 A 错误；交流电的周期 $T = 0.2$ s，故交流电的频率 $f = \dfrac{1}{T} = 5$ Hz，故 B 正确；根据 $E_m = nBS\omega$ 可知 $S = \dfrac{E_m}{nB\omega} = \dfrac{1}{5\pi}(\mathrm{m}^2)$，故 C 正确；0.05 s 时线圈产生的感应电动势最大，线圈平面不可能在中性面，故 D 错误。故选 BC。

点睛 解决本题的关键掌握交流电电动势峰值的表达式，以及知道峰值与有效值的关系，知道原副线圈电压、电流与匝数比的关系。根据 $E = NBS\omega$ 求出线圈转动产生的电动势最大值，根据最大值求出有效值，根据电压之比等于匝数比，求出原副线圈的匝数之比，根据电流比等于匝数之反比求出副线圈的电流。

3. (1) $E = 5\sqrt{5}$ V (2) ab、cd 边到 OO' 轴的距离分别是 0.2 m 和 0.1 m

解析 (1) 由交流电的有效值定义有：$\dfrac{E^2}{R}T = \dfrac{\left(\dfrac{E_{m1}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \cdot \dfrac{T}{2} + \dfrac{\left(\dfrac{E_{m2}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \cdot \dfrac{T}{2}$，代入数据得：$E = 5\sqrt{5}$ V。

(2) 设 ab 边到 OO' 轴的距离为 L_1，cd 边到 OO' 轴的距离为 L_2，由题意可知：$\omega = \dfrac{2\pi}{T}$，$T = \dfrac{\pi}{100}s$，$E_{ab} = nBLL_1\omega$，$E_{cd} = nBLL_2\omega$，代入数据解得：$L_1 = 0.2$ m，$L_2 = 0.1$ m。

点睛 本题主要考查了交流电的有效值的求法，明确正弦交流电最大值为 $E_m = NBS\omega$。根据电流的热效应求的交流电的有效电压；根据 $E_m = NBS\omega$ 求得边长。

4. B

解析 根据交流电电动势 $e = nB\omega S\sin\omega t$，发电机线圈的转速变为原来的$\frac{1}{2}$，则交流电的最大值变为原来的$\frac{1}{2}$，从而有效值也变为原来的$\frac{1}{2}$，次级线圈的电压$U_2$也就是电压表V的读数变为原来的$\frac{1}{2}$，选项B正确；根据$P=\frac{U^2}{R}$，$R$消耗的功率变为$\frac{1}{4}P$，选项A错误；根据$P=UI$知，电流表A的读数变为$\frac{1}{2}I$，选项C错误；通过$R$的交变电流频率变为原来的$\frac{1}{2}$，选项D错误。选B。

5. AD

解析 $t=0$时，磁通量为零，线圈平面平行于磁感线，故A正确；每经过一次中性面(线圈平面垂直于磁感线，磁通量有最大值)电流的方向改变一次，$t=1\ \text{s}$时，磁通量为零，线圈平面平行于磁感线，故B错误；$t=1.5\ \text{s}$时，磁通量有最大值，但磁通量的变化率为零$\left(\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0\right)$，根据法拉第电磁感应定律可知线圈中的感应电动势为零，故C错误；感应电动势最大值$E_m=NBS\omega=N\cdot\Phi_m\cdot\frac{2\pi}{T}=4\pi\ \text{V}$，有效值$E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=2\sqrt{2}\pi\ \text{V}$，一个周期内线圈产生的热量$Q=\frac{E^2}{R}\cdot T=8\pi^2\ \text{J}$，故D正确。选AD。

点睛 本题考查交变电流的规律和“四值问题”。应了解线圈经过中性面时，磁通量最大，感应电动势最小，且电流方向发生改变。

6. B

解析 设理想变压器原、副线圈匝数比值为k，根据题述，当开关S断开时，电流表示数为I，则由闭合电路欧姆定律得：$U=IR_1+U_1$，即：$U_1=U-IR_1$ ①，又：$I_2=kI$ ②，则：$U_2=I_2(R_2+R_3)=kI(R_2+R_3)$ ③，将①②③式代入$U_1I=U_2I_2$，得：$UI-I^2R_1=(kI)^2(R_2+R_3)$ ④；同理，当开关S闭合时，电流表示数为$4I$，则有：$U=4IR_1+U_1'$，即：$U_1'=U-4IR_1$ ⑤，又：$I_2'=4kI$ ⑥，故：$U_2'=I_2'R_2=4kIR_2$ ⑦，将⑤⑥⑦式代入功率关系：$U_1'\cdot 4I=U_2'I_2'$，得：$4UI-(4I)^2R_1=(4kI)^2R_2$ ⑧，联立④⑧式解得：$k=3$，选项B正确。

7. AD

解析 因为两灯泡额定电压相同且均正常发光，且输入电压为灯泡额定电压的10倍；所以理想变压器的输入、输出电压比为$9:1$，由理想变压器变压规律可知，原、副线圈的匝数比为$9:1$，A项正确，B项错误；由理想变压器变流规律可知，原、副线圈的电流比为$1:9$，由电功率$P=UI$可知，a和b的电功率之比为$1:9$，C项错误，D项正确。

8. AC

解析 对选项AB，线圈在磁场中切割磁感线，产生电动势为：$E_{max}=NBlv_{max}$，其中$l=\pi D$；联立得：$E_{max}=\pi NBDv_{max}=\pi\times200\times0.2\times0.4\times0.4\pi\text{V}=64\ \text{V}$；则波浪发电产生电动势$e$的瞬时表达式：$e=E_{max}\sin\pi t=64\sin(\pi t)\text{V}$；根据闭合电路欧姆定律有：$I=\frac{E}{R+r}$；得：$i=\frac{e}{r+R}=4\sin(\pi t)\text{A}$，故A正确，B错误；对选项C，灯泡电流的有效值为：$I=\frac{4}{\sqrt{2}}\text{A}$，则灯泡的功率为：$P=I^2R=\frac{16}{2}\times15\ \text{W}=120\ \text{W}$，故C正确。对选项D，灯泡两端电压的有效值为：$U=IR=\frac{4}{\sqrt{2}}\times15\ \text{V}=30\sqrt{2}\ \text{V}$，故D错误。故选AC。

点睛 该题关键是计算感应电动势的最大值，由于是运动切割，故速度最大时，对应感应电动势最大。在求解灯泡两端电压时，用欧姆定律较简单，不用硬套交流电有效值公式。根据感应电动势公式$E=Blv$和$v=0.4\pi\sin(\pi t)\text{m/s}$，求出电动势$e$的瞬时表达式；由欧姆定律可得灯泡电流表达式；由电流有效值来计算灯泡电功率；由欧姆定律来计算灯泡电压的有效值。

9. C

解析 交流电的周期为 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{100\pi}=0.02\ \text{s}$，选项 A 错误；当 u 为正最大值时，R_1 被短路，流过 R_2 的电流为 $I=\frac{220\sqrt{2}}{110}\ \text{A}=2\sqrt{2}\ \text{A}$，选项 B 错误；因为是交流电，当 $U_{AB}>0$ 时，二极管导通即 R_1 被短路，R_2 电压为电源电压，即为 $U_2=\frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\ \text{V}=220\ \text{V}$；当 $U_{AB}<0$ 时，二极管截止，即 R_1、R_2 串联分压，R_2 的电压为 $U_2'=\frac{110\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\ \text{V}=110\ \text{V}$。因此在一个周期内，由 $Q=Q_1+Q_2$，即为：$\frac{U^2}{R}T=\frac{220^2}{R}\frac{T}{2}+\frac{110^2}{R}\frac{T}{2}$，解得加在 R_2 上的电压有效值为：$U=55\sqrt{10}\ \text{V}$。故 C 正确、D 错误。

点睛 一般取一个周期计算交、直流电通过同一电阻的发热量，根据电流的热效应相当来计算交流电的有效值。注意二极管的单向导电性导致的电路变化。

10. C

解析 由灯泡规格相同且全部正常发光知，流经每个灯泡的电流都相等，设为 I，每个灯泡两端电压都相等，设为 U，则 $U_2=U$，$U_3=2U$；根据输入功率等于输出功率知，$U_1I=U_2\cdot 2I+U_3I$，解得 $U_1=4U$；再根据电压与匝数成正比知，$N_1:N_2:N_3=U_1:U_2:U_3=4:1:2$，选项 C 正确。

11. (1) $\frac{nL_1L_2(B_1-B_0)}{(R+r)t_1}$ (2) $\pi R\omega\left(\frac{nB_1L_1L_2}{R+r}\right)^2$ (3) $\frac{nB_1L_1L_2}{R+r}$

解析 (1) 在 $0\sim t_1$ 时间内，金属线框中的感应电动势为 $E_1=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{nL_1L_2(B_1-B_0)}{t_1}$，根据闭合电路欧姆定律，通过电阻 R 的电流为 $I_1=\frac{E}{R+r}=\frac{nL_1L_2(B_1-B_0)}{(R+r)t_1}$。

(2) 线框产生感应电动势的最大值为 $E_m=nB_1L_1L_2\omega$，感应电动势的有效值为 $E=\frac{\sqrt{2}}{2}nB_1L_1L_2\omega$，通过电阻 R 的电流的有效值为 $I=\frac{\sqrt{2}nB_1L_1L_2\omega}{2(R+r)}$，线框转动一周所需的时间为 $t=\frac{2\pi}{\omega}$，此过程中，电阻 R 产生的热量：$Q=I^2Rt=\pi R\omega\left(\frac{nB_1L_1L_2}{R+r}\right)^2$。

(3) 线框从图甲所示位置转过 90°的过程中，平均感应电动势 $\bar{E}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{nB_1L_1L_2}{\Delta t}$，平均感应电流 $\bar{I}=\frac{\bar{E}}{R+r}=\frac{nB_1L_1L_2}{\Delta t(R+r)}$，通过电阻 R 的电荷量 $q=\bar{I}\Delta t=\frac{nB_1L_1L_2}{(R+r)}$。

12. BD

解析 单刀双掷开关置于 a 点时电动机工作，这时电动机是非纯电阻用电器，而置于 b 点时，电动机是纯电阻用电器，虽然两种情况下副线圈电压之比是 11∶1，但电流之比不是 11∶1，故 A 错；在非纯电阻的情况下，电动机两端电压与电流不成正比，故 C 错；滑片向上滑动，电流变小，变压器输出功率变小，输入功率也变小，B 正确；在电动机不工作的情况下，其两端电压与电流成正比，故选项 D 正确。选 BD。

13. ABD

解析 根据题意，电动势的瞬时值表达式为：$e=BLv_m\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$，则最大电动势为：$E_m=BLv_m$，故选项 A 正确；由于最大电动势为：$E_m=BLv_m$，则电动势的有效值为：$E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$，$\frac{E}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}=k$，则副线圈两端的电压为：$U_2=\frac{\sqrt{2}BLv_m}{2k}$，故选项 B 正确；副线圈电流为：$I_2=\frac{U_2}{R}=\frac{\sqrt{2}BLv_m}{2kR}$，再根据：$\frac{I_2}{I_1}=\frac{n_1}{n_2}=k$，得电流表读数为：$I_2=\frac{I_2}{k}=\frac{\sqrt{2}BLv_m}{2k^2R}$，故选项 C 错误；根据能量守恒，导体棒克服安培力做功的功率等于电阻 R

的热功率，故：$P=\frac{U_2^2}{R}=\frac{B^2L^2v_m^2}{2k^2R}$，故选项D正确。

14. B

解析 根据理想变压器的变压比等于匝数比，则理想变压器副线圈两端的电压 $U'=440\ \text{V}$，则 $I_3=\frac{U'}{R_3}=2.0\ \text{A}$，选项B正确；因为 R_2 与理想二极管串联，根据理想二极管的单向导电性，由焦耳定律可得：$I_2^2R_2T=I_3^2R_2\frac{T}{2}+0$，解得 $I_2=\sqrt{2}\ \text{A}$，选项A错误；滑动变阻器的滑片向下滑动时，其电阻值变小，因副线圈两端的电压不变，总电流变大，理想变压器的输出功率变大，输入功率变大，I_1 变大，选项C错误；滑动变阻器的滑片向上滑动时，其电阻值变大，因副线圈两端的电压不变，总电流变小，理想变压器的输出功率变小，输入功率变小，选项D错误。选B。

15. D

解析 C 点以恒定角速度 ω（相对圆心 O）转过角度为 $\theta=\omega t$，根据几何知识知线框的面积：$S=\frac{1}{2}\cdot 2R\cdot R\sin\theta=R^2\sin\theta$，磁通量为：$\Phi=BR^2\sin\theta=BR^2\sin\omega t$，则磁通量先增大后减小，根据楞次定律知电流的方向先逆时针，后顺时针，故A错误；

根据 $q=\frac{\Delta\Phi}{R_{总}}$ 知，通过导线上 C 点的电量：$q=\frac{BR^2\sin 60°-0}{r}=\frac{\sqrt{3}BR^2}{2r}$，故B错误；

根据 $e=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 知 $e=\omega BR^2\cos\omega t$，$C$ 沿圆弧移动到圆心 O 的正上方时，$\omega t=\frac{\pi}{2}$，故导线框中的感应电动势最小为零，选项C错误；

根据C项知电动势有效值为：$E=\frac{\omega BR^2}{\sqrt{2}}$，故电热为：$Q=\frac{E^2}{r}t$，又 $t=\frac{\pi}{\omega}$，解得：$Q=\frac{\pi B^2R^4\omega}{2r}$，D正确。故选D。

点睛 在 C 从 A 点沿圆弧移动到 D 点的过程中，磁感应强度不变，磁场中线框有效面积为以直径为底边的三角形面积，移动过程中，此三角形的高先逐渐增大到等于半径 R，后逐渐减小到零，磁通量也先增大后减小，且按照正弦规律变化，与线框绕垂直匀强磁场的转轴匀速转动的情况类似，所以感应电动势按照余弦规律变化。可参照正弦交流电的有关方法计算。

专题十一　电磁感应与电路综合

1. BD

解析 导体棒没有进入磁场区域时穿过回路的磁感应强度不断增大，闭合回路的磁通量发生变化，回路产生感应电流，故A错误；导体棒没有进入磁场前，由牛顿第二定律得：$mg\sin\alpha=ma$，解得：$a=6\ \text{m/s}^2$，导体棒进入磁场前做初速度为零的匀加速直线运动，则 $x_1=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times 6\times 1^2\ \text{m}=3\ \text{m}$，故B正确；导体棒进入磁场时的速度：$v=at=6\times 1\ \text{m/s}=6\ \text{m/s}$，由图乙所示图象可知，导体棒进入磁场后磁场的磁感应强度 $B=2\ \text{T}$，感应电动势：$E=BLv=2\times 0.30\times 6\ \text{V}=3.6\ \text{V}$，故C错误；导体棒进入磁场后受到的安培力：$F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R+r}$，导体棒做匀速直线运动，由平衡条件得：$mg\sin\alpha=\frac{B^2L^2v}{R+r}$，解得导体棒的质量：$m=0.03\ \text{kg}$，故D正确。选BD。

点睛 分析清楚导体棒的运动过程、了解图乙所示图象的意义是解题的前提。用基础知识即可解题，平时要注意基础知识的学习与积累。

2. C

解析 导体棒由靠近 ab 边向 bc 边匀速滑动的过程中，产生的感应电动势不变，外电路总电阻先增大后减小，由闭合电路欧姆定律知总电流先减小后增大，所以路端电压先增大后减少。故 PQ 中电流先减小后增大，PQ 两端的电压先增大后减小，选项A、B错；棒匀速滑动，拉力等于安培力，故 PQ 上外力的功率等于

电功率，根据串并联电路特点，外电路总电阻最大值为$\frac{3}{4}R$，小于电源内阻R，而外电路总电阻先增大后减小，所以外电路（即线框）消耗的电功率先增大后减小（内、外电阻越接近时外电路消耗的电功率越大）。故选C。

点睛 本题可将过程分段分析：在PQ从左端滑到ab中点的过程和从ab中点滑到右端的过程，抓住棒PQ产生的感应电动势不变。

3. C

解析 在$0\sim L$内，线框进入磁场，磁通量增加，根据楞次定律判断得知感应电流方向沿逆时针方向，为正值。线框有效的切割长度l均匀增加，由$E=Blv$线框中产生的感应电动势均匀增加，感应电流均匀增加，$x=L$时线框恰好完全进入左边磁场，感应电流突变为零；

在$L\sim 2L$内，线框开始进入右边磁场，由于左右两边的磁场方向相反，右边磁通量增加，左边磁通量减少，合磁通量先向里逐渐减小到零后又向外逐渐增加，根据楞次定律判断得知，感应电流方向一直沿顺时针，为负值，线框左右两边都切割磁感线，产生感应电动势，两个电动势反向连接，线框有效的切割长度l均匀增加，由$E=2Blv$知感应电电动势均匀增加，$x=2L$时感应电流突又变为零；

在$2L\sim 3L$内，线框离开磁场，磁通量减小，根据楞次定律判断得知感应电流方向沿逆时针方向，为正值。线框有效的切割长度l均匀增加，由$E=Blv$线框中产生的感应电动势均匀增加，感应电流均匀增加，$x=3L$时刻线框恰好完全离开右边磁场，感应电流突变为零，综上可知选项C正确。故选C。

4. BC

解析 根据$B-t$图象，由楞次定律可知，线圈中感应电流方向一直为顺时针，但在t_0时刻，磁场的方向发生变化，故安培力方向F_A的方向在t_0时刻发生变化，则A错误、B正确；由闭合电路欧姆定律得：$I=\frac{E}{R}$，又根据法拉第电磁感应定律得：$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}\frac{\pi r^2}{2}=\frac{\pi r^2 B_0}{2t_0}$，又根据电阻定律得：$R=\rho\frac{2\pi r}{S}$，联立得：$I=\frac{B_0 rS}{4t_0\rho}$，则C正确、D错误。故本题选BC。

5. D

解析 如图情况下，电流方向为顺时针，当前边在向里的磁场中时，电流方向为逆时针，但因为两导体棒之间距离为磁场宽度的$\frac{3}{2}$倍，所以有一段时间两个导体棒都在同一方向的磁场中，感应电流方向相反，总电流为0，所以选D。

6. AC

解析 根据法拉第电磁感应定律，感应电动势$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，即$E$为$\Phi$的导数，有$\Phi=BS$，$S$不变，$\Phi$与$B$成正比，所以，$E$与$i$的导数成正比，$E-t$图为一余弦函数，从图象可以看出：在$t=\frac{T}{4}$时$E$为零，选项A正确；在$t=\frac{T}{2}$时$E$改变方向，选项B错误；在$t=\frac{T}{2}$时$E$为负最大，且沿顺时针方向，选项C正确；在$t=T$时$E$为正最大，且沿逆时针方向，选项D错误。

7. (1) $v=\sqrt{2as}$ (2) $I=\frac{m(g\sin\theta-a)}{dB}$ (3) $Q=\frac{\sqrt{2as}\,m(g\sin\theta-a)}{dBa}$

解析 (1) 匀加速直线运动$v^2=2as$，解得$v=\sqrt{2as}$；

(2) 安培力$F_{安}=IdB$，金属棒所受合力$F=mg\sin\theta-F_{安}$，牛顿运动定律$F=ma$，解得$I=\frac{m(g\sin\theta-a)}{dB}$；

(3) 运动时间$t=\frac{v}{a}$，电荷量$Q=It$，解得$Q=\frac{\sqrt{2as}\,m(g\sin\theta-a)}{dBa}$。

8. (1) $B=\sqrt{\dfrac{mgR\sin\theta}{L^2v}}$　(2) $v=\dfrac{gv\sin\theta}{v+CgR\sin\theta}t$

解析　(1) 若在 M、P 间接电阻 R 时，金属棒先做变加速运动，当加速度为零时做匀速运动，达到稳定状态。则感应电动势：$E=BLv$，感应电流：$I=\dfrac{E}{R}$，棒所受的安培力：$F=BIL$，联立可得：$F=\dfrac{B^2L^2v}{R}$，由平衡条件可得：$F=mg\sin\theta$，解得：$B=\sqrt{\dfrac{mgR\sin\theta}{L^2v}}$。

(2) 若在导轨 M、P 两端将电阻 R 改接成电容为 C 的电容器，将金属棒 ab 由静止释放，产生感应电动势，电容器充电，电路中有充电电流，ab 棒受到安培力。设棒下滑的速度大小为 v'，经历的时间为 t。则电容器板间电压为 $U=E'=BLv$，此时电容器的带电量为 $Q=CU$。设时间间隔 Δt 时间内流经棒的电荷量为 ΔQ，则电路中电流：$i=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}=\dfrac{C\Delta U}{\Delta t}=\dfrac{CBL\Delta v}{\Delta t}$，又 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，解得：$i=CBLa$，根据牛顿第二定律得：$mg\sin\theta-BiL=ma$，解得：$a=\dfrac{mg\sin\theta}{m+B^2L^2C}=\dfrac{gv\sin\theta}{v+CgR\sin\theta}$，所以金属棒做初速度为0的匀加速直线运动，$t$ 时间末的速度：$v'=at=\dfrac{gv\sin\theta}{v+CgR\sin\theta}t$。

9. (1) 0.2 V　(2) 0.2 N　(3) 0.015 J

解析　(1) 对棒 ab 自由下落过程，有 $t_1=\sqrt{\dfrac{2h}{g}}=0.2\ \text{s}$，磁感应强度变化率为 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}=\dfrac{0.5}{0.2}\ \text{T/s}=2.5\ \text{T/s}$，由法拉第电磁感应定律得，$0\sim t_1$ 时间内感应电动势 $E_1=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}L_{ab}bh$，联立以上各式并代入数据可得 $E_1=0.2\ \text{V}$。

(2) 由棒 ab 匀速进入磁场区域可知：$BI_2L_{ab}=m_{ab}g$，代入数据，可解得 $I_2=1\ \text{A}$。在 $t_1\sim t_2$ 时间内，对棒 cd 受力分析可得 $F_T=m_{cd}g+B_0I_2L_{cd}$，代入数据，可解得 $F_T=0.2\ \text{N}$。

(3) 棒 ab 刚进入磁场时的速度为 $v=gt_1=2\ \text{m/s}$，棒 ab 刚进入磁场后的感应电动势为 $E_2=BL_{ab}v=0.4\ \text{V}$，由电路知 $R_{cd}=\dfrac{E_2}{I_2}-R_{ab}=0.1\ \Omega$，在 $0\sim t_1$ 时间内，感应电流为 $I_1=\dfrac{E_1}{R_{ab}+R_{cd}}=0.5\ \text{A}$，棒 cd 在 $0\sim t_2$ 时间内产生的焦耳热：$Q_{cd}=Q_1+Q_2=I_1^2R_{cd}t_1+I_2^2R_{cd}\cdot\dfrac{h}{v}=0.015\ \text{J}$。

10. C

解析　由 $\dfrac{B^2l^2v}{R}=ma$ 可知该过程中 l、v 均在减少，故 a 变化，A 错；由能量守恒可知 $Q_{热}=\dfrac{1}{2}mv_0^2$，B 错；$I=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta tR}$，$\Delta\Phi=BS$，$Q=I\Delta t$，联立得 $S=\dfrac{QR}{B}$，C 对；当 $v=\dfrac{1}{2}v_0$ 时，$l<l_0$，由 $I=\dfrac{E}{R}=\dfrac{Blv}{R}$ 知，$I<\dfrac{I_0}{2}$，D 错。故选 C。

11. AB

解析　合上开关 S 后电源对导体供电，导体棒在安培力作用下做切割磁感线运动而产生感应电动势，感应电流受到的安培力阻碍其加速，故导体棒做加速度逐渐减小的加速运动。当感应电动势等于路端电压时，导体棒处于稳定运动状态，此时有最大速度且导体棒中无电流，选项 A 正确；由法拉第电磁感应定律知：$U=BLv_m$，由闭合电路欧姆定律知：$U=\dfrac{E}{R+r}R$，整理可得：$v_m=\dfrac{ER}{(R+r)BL}$，B 选项正确；导体棒稳定运动时电源的输出功率 $P=I^2R=\dfrac{E^2R}{(R+r)^2}$，选项 C 错误；导体棒稳定运动时产生的感应电动势与路端电压相等，即为 $U=\dfrac{E}{R+r}R$，选项 D 错误。故选 AB。

点睛　可将电源 E 与电阻 R 合成一个等效电源，当导体棒因切割产生的反电动势与等效电源电动势

$\left(E'=\dfrac{E}{R+r}R\right)$相等时，导体棒将不再有电流，从而达到稳定的匀速运动状态。

12. (1) BC　磁场总要阻碍　(2) D

解析　(1) 分析产生感应电流的各种装置情况，总结共同规律：每个实验中，只改变一个条件，其他条件是不变的。所以用了控制变量和总结归纳法，选 BC。实验表明，感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

(2) 将多功能电源输出电流变化的频率适当增大后，其周期变小，在 i_1-t 图象中的图线的每一小段图线斜率变大，即引起的磁场变化率更大，根据法拉第电磁感应定律可知，小线圈Ⅱ中的感应电动势变大，故感应电流 i_2 也相应变大，由于 i_1 在各阶段的变化为均匀增减(线性变化)，故 i_2 在各阶段大小是恒定的。综上选项 D 正确。

13. AB

解析　三角形线框向外匀速运动的过程中，由于有效切割磁感线的长度 $L=vt$，所以线框中感应电动势的大小 $E=BLv=Bv^2t$，故选项 A 正确；线框离开磁场的运动过程中，通过线圈的电荷量 $Q=It=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta tR}\times\Delta t=\dfrac{Bl^2}{2R}$，选项B正确；当线框恰好刚要完全离开磁场时，线框有效切割磁感线的长度最大，则 $F=BIl=\dfrac{B^2l^2v}{R}$，选项 C 错误；线框的热功率为：$P=Fv=BIvt\times v=\dfrac{B^2v^4t^2}{R}$，选项 D 错误。故选 AB。

14. (1) 1 V　方向：从上往下看为逆时针　(2) 2 T　方向：垂直斜面向下　(3) 1.4 C

解析　(1) 0～1 s 内由法拉第电磁感应定律得：$E=\dfrac{\Delta B_1}{\Delta t}S$，$S=d\cdot L$，解得：$E=1$ V，方向：从上往下看为逆时针。

(2) 对 cd 受力分析得：$B_2\dfrac{E}{2R}L-mg\sin\theta=0$，解得：$B_2=2$ T，方向：垂直斜面向下。

(3) 设 ab 进入磁场后的速度为 v，由于 cd 一直处于静止状态，说明 0～1 s 内 ab 未进入磁场，1 s 后进入磁场切割磁感线，此时磁场 $B_1=0.4$ T，感应电动势不变，有：$\dfrac{\Delta B_1}{\Delta t}S=B_1Lv$，即：$\dfrac{1.4-0.4}{1-0}\times2\times0.5=0.4\times0.5\cdot v$，解得：$v=5$ m/s。ab 在磁场中运动的时间：$t'=\dfrac{d}{v}=0.4$ s，$t_2=1+t'=1.4$ s，在 $0\sim t_2$ 内通过金属杆 ab 的电量：$q=It_2$，$I=\dfrac{E}{2R}$，$q=1.4$ C。

专题十二　带电粒子在电场中的运动

1. BD

解析　将电容器上板向上移动一段距离，电容器所带的电荷量 Q 不变，由于 $E=\dfrac{U}{d}=\dfrac{Q}{Cd}=\dfrac{4\pi kQ}{\varepsilon_rS}$ 可知，当 d 增大时，场强 E 不变，以相同的速度入射的小球仍按原来的轨迹运动，故 B 正确，A、C 错误。若上板不动，将下板上移一段距离时，板间电场强度不变，粒子所受的电场力不变，粒子轨迹不变，小球可能打在下板的中央，故 D 正确。选 BD。

2. (1) $2mg-k\dfrac{Qq}{4r^2}$　方向竖直向下　(2) $\dfrac{1}{2}mgr$ 或$(\sqrt{2}-1)\dfrac{kQq}{2r}$

解析　(1) 小球在 D 点时有 $F_N+k\dfrac{Qq}{(2r)^2}-mg=\dfrac{mv^2}{r}$，解得：$F_N=2mg-k\dfrac{Qq}{4r^2}$，由牛顿第三定律得小球在 D 点时对轨道的压力大小为：$F_N'=2mg-k\dfrac{Qq}{4r^2}$，方向竖直向下。

(2) 方法一：小球从 A 运动到 D，根据动能定理有：$mgr+W_{电}=\dfrac{1}{2}m(\sqrt{gr})^2-0$，解得电场力做的功：

$W_电 = -\frac{1}{2}mgr$，因为电场力做负功，则电势能增加 $\Delta E_p = \frac{1}{2}mgr$。

方法二：以无穷远处为零势点，A 点的电势能为 $E_A = -\frac{kQq}{\sqrt{2}r}$，$D$ 点的电势能为 $E_D = -\frac{kQq}{2r}$，则电势能的改变量为 $\Delta E_p = E_D - E_A = (\sqrt{2}-1)\frac{kQq}{2r}$。

3. D

解析 在 $x<0$ 范围内，当 x 增大时，由电场是匀强电场，且 $U=Ed$，可知电势差均匀增大，φ-x 图线应为向上倾斜的直线，在 $x>0$ 范围内，当 x 增大时，同理可知电势差均匀减小，φ-x 图线应为向下倾斜的直线，选项 A 错误；在 $x<0$ 范围内，电场力向右，加速度向右，为正值；在 $x>0$ 范围内，电场力向左，加速度向左，为负值，选项 B 错误；在 $x<0$ 范围内，根据动能定理得：$qEx = \frac{1}{2}mv^2$，v-x 图象中的图线应是曲线，同理，在 $x>0$ 范围内，图线也为曲线，选项 C 错误；在 $x<0$ 范围内，根据动能定理得 $qEx = E_k$，E_k-x 图象中的图线应是倾斜的直线，同理，在 $x>0$ 范围内，图线也为倾斜的直线，选项 D 正确。

4. (1) $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{2\varphi}{d}qh$ $l = v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$ (2) $L = 2l = 2v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$

解析 (1) P、G、Q、G 间场强大小相等，均为 E，粒子在 P、G 间所受电场力 F 的方向竖直向下，设粒子的加速度大小为 a，有：$E = \frac{2\varphi}{d}$①，$F = qE = ma$②，设粒子第一次到达 G 时动能为 E_k，由动能定理有：$qEh = E_k - \frac{1}{2}mv_0^2$③，设粒子第一次到达 G 时所用时间为 t，粒子在水平方向的位移为 l，则有：$h = \frac{1}{2}at^2$④，$l = v_0t$⑤，联立①②③④⑤式解得：$E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{2\varphi}{d}qh$ ⑥，$l = v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$ ⑦。

(2) 设粒子穿过 G 一次就从电场的右侧飞出，则金属板的长度最短，由对称性知，此时金属板的长度 L 为 $L = 2l = 2v_0\sqrt{\frac{mdh}{q\varphi}}$ ⑧。

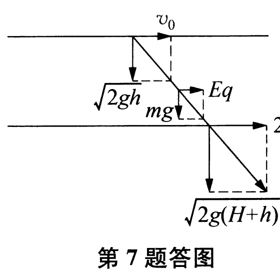
5. BD

解析 根据题意，竖直方向上的位移关系是：$x_a > x_b$，根据 $x = \frac{1}{2}at^2$ 和 $a = \frac{qE}{m}$，联立得：$x = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2$，$qE$ 相同，质量 m 和位移 x 成反比，故 a 的质量比 b 的小，选项 A 错误；根据动能定理：$qEx = \frac{1}{2}mv^2$，动能大小与位移成正比，故 t 时刻，a 的动能比 b 大，选项 B 正确；t 时刻，a 和 b 位于同一等势面上，电势相等，但是电荷电性不同，故电势能不同，选项 C 错误；根据动量定理：$qEt = mv - 0$，微粒受到的电场力（合外力）相等，可知动量大小相等，选项 D 正确。

6. D

解析 由粒子的轨迹知电场力的方向偏向右，因粒子带负电，故电场线方向偏向左，由沿电场线方向电势降低可知：$\varphi_N < \varphi_M$，粒子带负电，故：$E_{pM} < E_{pN}$；N 点电场线比 M 点密，故场强：$E_M < E_N$，由加速度 $a = \frac{Eq}{m}$ 知：$a_M < a_N$。由于电场力指向运动轨迹的凹侧，故带电粒子若从 N 运动到 M 一定加速，电场力做正功，动能增加，故 $v_M > v_N$。综上所述，选项 D 正确。

7. (1) 3∶1 (2) $\frac{1}{3}H$ (3) $E = \frac{\sqrt{2}mg}{2q}$



第 7 题答图

解析 (1) 由题知，电场力只改变水平方向速度，不改变竖直方向速度，因此，M，N 球在电场中运动时间相同。设两小球进入电场中水平初速度均为 v_0，则：$\Delta v_N = -v_0$ 由于 M，N 在电场中所受电场力大小相等，因此水平方向加速度大小相等，运动时间又相等，则 M，N 速度变化量大小

相等。∴$\Delta v_M = v_0$ 则 M、N 在水平方向末速度 v_M、v_N 分别为：$v_M = v_0 + \Delta v_M = 2v_0$，$v_N = v_0 + \Delta v_N = 0$。

∴M、N 水平方向位移：$\left.\begin{aligned} x_M &= \frac{v_0 + v_M}{2}\cdot t \\ x_N &= \frac{v_0 + v_N}{2}\cdot t \end{aligned}\right\} \Rightarrow x_N : x_M = 1:3$。

(2) 设初始位置离电场上边沿距离为 h，对于电荷 M，因为其做直线运动，则有如下相似关系：$\dfrac{v_0}{2v_0} = \dfrac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2g(H+h)}}$，解得：$h = \dfrac{1}{3}H$。

(3) 如答图所示，有如下相似关系：$\dfrac{v_0}{\sqrt{2gh}} = \dfrac{Eq}{mg}$ ①，由题意知，小球出电场时，M 与 N 小球动能之比为 3∶2，即 $E_{kM} = \dfrac{3}{2}E_{kN}$ ②，由动能表达式 $E_k = \dfrac{1}{2}mv^2$ 知：$E_{kM} = \dfrac{1}{2}m\{[\sqrt{2g(H+h)}]^2 + (2v_0)^2\}$ ③，$E_{kN} = \dfrac{1}{2}m[\sqrt{2g(H+h)}]^2$ ④，联立①～④式解得：$E = \dfrac{\sqrt{2}mg}{2q}$。

8. (1) $v_t = v_0 - 2gt_1$　(2) 当 B 在 A 上方时：$E_2 = \dfrac{E_1}{4g^2t_1^2}(v_0^2 + 8g^2t_1^2 - 8gt_1v_0)$，$v_0 > (4+2\sqrt{3})gt_1$ 或 $0 < v_0 < (4-2\sqrt{3})gt_1$；当 B 在 A 下方时：$E_2 = \dfrac{E_1}{4g^2t_1^2}(-v_0^2 + 8g^2t_1^2 - 8gt_1v_0)$，$0 < v_0 < (2\sqrt{5}-4)gt_1$。

解析　(1) 选油滴为研究对象，从 A 到 B 整段过程中，由动量定理：$I_G + I_{电} = \Delta p$，由于电场力总冲量为零，代入数据：$-mg\cdot 2t_1 = m\cdot\Delta v$，即：$v_t - v_0 = -2gt_1$，得：$v_t = v_0 - 2gt_1$。

(2) 设增大后的场强大小为 E_2，以向上为正方向。由于油滴开始时匀速运动，由受力平衡条件：$E_1q = mg$，在增大场强之后到电场反向之前，油滴加速度：$a_1 = \dfrac{E_2q - mg}{m}$ ①，其位移：$s_1 = v_0t_1 + \dfrac{1}{2}a_1t_1^2$ ②，反向后到运动到 B 点，其加速度：$a_2 = \dfrac{-E_2q - mg}{m}$ ③，其位移：$s_2 = (v_0 + a_1t_1)t_1 + \dfrac{1}{2}a_2t_1^2$ ④，且 AB 距离为不存在电场时油滴以初速度 v_0 做竖直上抛运动的最大高度的一半，则：$s_1 + s_2 = \pm\dfrac{v_0^2}{4g}$(正负号表示 B 在 A 点上方或下方) ⑤，将②、④式代入⑤式可得：$v_0t_1 + \dfrac{1}{2}a_1t_1^2 + (v_0 + a_1t_1)t_1 + \dfrac{1}{2}a_2t_1^2 = \pm\dfrac{v_0^2}{4g}$ ⑥，由①、③式可得：$a_1 + a_2 = -2g$ ⑦，将⑦式代入⑥式可得：$a_2 = \dfrac{1}{t_1^2}\left(2v_0t_1 - 3gt_1^2 \mp \dfrac{v_0^2}{4g}\right)$ ⑧，代入③式得：$E_2 = \dfrac{E_1}{g}\left(\pm\dfrac{v_0^2}{4gt_1^2} + 2g - \dfrac{2v_0}{t_1}\right)$ ⑨。

讨论：当 B 在 A 上方时：$E_2 = \dfrac{E_1}{4g^2t_1^2}(v_0^2 + 8g^2t_1^2 - 8gt_1v_0)$，由于 $E_2 > E_1$，且 $E_1q = mg$，因此，此时电场力大于重力，即：$E_2q > mg$，代入可得：$\begin{cases} v_0^2 - 8gt_1v_0 + 4g^2t_1^2 > 0 \\ v_0 > 0 \end{cases}$，解得：$v_0 > (4+2\sqrt{3})gt_1$ 或 $0 < v_0 < (4-2\sqrt{3})gt_1$。

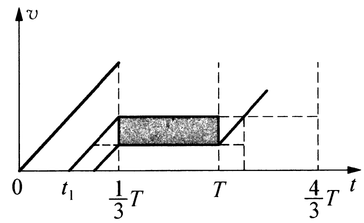
当 B 在 A 下方时：$E_2 = \dfrac{E_1}{4g^2t_1^2}(-v_0^2 + 8g^2t_1^2 - 8gt_1v_0)$，由于 $E_2 > E_1$，且 $E_1q = mg$，因此，此时电场力大于重力，即：$E_2q > mg$，代入可得：$\begin{cases} v_0^2 + 8gt_1v_0 - 4g^2t_1^2 < 0 \\ v_0 > 0 \end{cases}$，解得：$0 < v_0 < (2\sqrt{5}-4)gt_1$。

点睛　此题是套着电学的壳考了一个复杂的变速运动过程，需将运动分段处理，属多过程问题，难度较大。模型为带电粒子在电场与重力场的复合场中运动，题目逻辑链较长、所给已知量较少。主要考察学生的字母运算能力，以及在简单物理模型的基础上寻求巧妙方法的能力。因为复杂的字母运算大大增加了难度。判断范围问题时需进行讨论。

9. CD

解析 对 A 项，由图看出滑块的轨迹向右弯曲，可知滑块受到了斥力作用，则知小球与小滑块电性一定相同，故 A 项错误；对 B 项，滑块与小球的距离先减小后增大，由库仑定律得知滑块所受的库仑力先增大后减小，则其加速度先增大后减小，故 B 项错误；对 C 项，根据能量守恒定律得知，小滑块运动过程中具有的动能与电势能之和保持不变，因电场力做功，导致动能先减小后增大，那么电势能先增大后减小，故 C 项正确；对 D 项，从位置 1 到 2 的电场线越来越密，由 $U=Ed$ 分析 4、5 间电势差与 3、4 间电势差关系是：$U_{45}<U_{34}$，则电场力做功的大小关系是 $W_{45}<W_{34}$，故 D 项正确，故选 CD。

10. (1) $t=d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$ (2) $v_{\max}=\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$ $v_{\min}=(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$



第 10 题答图

解析 (1) 设 $t=0$ 时刻释放的粒子在 $\frac{T}{3}$ 时间内一直做匀加速直线运动，其加速度大小为 a，位移为 x，则由牛顿第二定律、电场力公式和运动学公式得：$q\frac{U_0}{d}=ma$，$x=\frac{1}{2}at^2$，解得：$a=\frac{qU_0}{md}$，$x=\frac{1}{2}\cdot\frac{qU_0}{md}\left(\frac{T}{3}\right)^2q=d$。可见，该粒子在 $\frac{T}{3}$ 时间内恰好运动到 O 处，该粒子在 P、Q 间运动的时间为：$t=\frac{T}{3}=d\sqrt{\frac{2m}{qU_0}}$。

(2) 分析可知，在 $t=0$ 时刻释放的粒子一直在电场中加速，对应进入磁场时的速率最大。设最大速率为 $v_{\max}$，由运动学公式得：$v_{\max}=a\cdot\frac{T}{3}=\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$。

设在 t_1 时刻释放的粒子先做匀加速直线运动，经 Δt 后，再做匀速直线运动，在 T 时间恰好由小孔 O 射出电场。设此时粒子的速度大小为 v_1，则由运动学公式得：$\frac{1}{2}a\,\Delta t^2+a\Delta t\times\frac{2}{3}T=\frac{1}{2}a\left(\frac{1}{3}T\right)^2$，可解得：$\Delta t=\frac{\sqrt{5}-2}{3}T$，则有：$v_1=a\Delta t=(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$。由答图可知，在 t_1 至 $\frac{T}{3}$ 时间内某时刻进入电场的粒子，其运动过程为先加速、后匀速，再加速，当速度达到 $v_1=a\Delta t$ 时，粒子还未运动到小孔 O 处。图中阴影的面积等于粒子此刻到小孔的距离；粒子需再经加速后方可到达 O 处，此时速度已大于 v_1。所以，速率 v_1 是粒子射出电场时的最小速率，即：$v_{\min}=(\sqrt{5}-2)\sqrt{\frac{2qU_0}{m}}$。

11. (1) $y=\frac{1}{8}L$ (2) $v=\frac{\sqrt{17}}{4}v_0$ (3) $v'=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

解析 (1) 设经过时间 t_1 粒子射出电场，沿电场方向位移 y，沿电场方向速度为 v_{y1}，由类平抛运动知，$L=v_0t_1$，$y=\frac{1}{2}at_1^2$，$v_{y1}=at_1$，射出电场的速度分解到水平方向和竖直方向：$\frac{\sqrt{17}}{4}v_0=\sqrt{v_{y1}^2+v_0^2}$，联立以上各式解得：$a=\frac{v_0^2}{4L}$，$y=\frac{1}{8}L$。

(2) 粒子在水平方向做匀速运动，设经过时间 t_2 粒子射出电场：$L=\frac{1}{4}v_0t_2$，设粒子沿场强方向加速度为 a，沿场强方向做匀加速直线运动：$v_{y2}=at_2$，粒子射出电场速度：$v=\sqrt{\left(\frac{1}{4}v_0\right)^2+(v_{y2})^2}$，联立以上各式解得：$v=\frac{\sqrt{17}}{4}v_0$。

(3) 设粒子以 v_x 射入电场，沿电场方向速度为 v_y，粒子射出电场的速度为 v'，可得：$v'=\sqrt{v_x^2+\left(a\frac{L}{v_x}\right)^2}$，可知 $(v_x)^2=\left(a\frac{L}{v_x}\right)^2$ 时，v' 取最小值，即：$v_x=\frac{v_0}{2}$，代入知最小速度为：$v'=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$。

点睛 解决本题的关键是掌握处理类平抛运动的方法，抓住其等时性，结合牛顿第二定律和运动学公式进行求解。

12. B

解析 由题可知，两个带电粒子都做类平抛运动，水平方向做匀速直线运动，而且它们的水平位移相等、初速度相等，则在电场中的运动时间相等，竖直位移为：$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{qEt^2}{2m}$，其中 m、t、E 相等，则带电荷量之比 $q_M:q_N=y_M:y_N=1:2$，选项A错误；电荷在电场中运动时，由功能关系可知，电势能减小量等于电场力做功，则电势能减少量之比为：$\Delta E_M:\Delta E_N=q_ME\cdot y_M:q_NE\cdot y_N=1:4$，选项B正确；动能增量之比为 $\Delta E_{kM}:\Delta E_{kN}=\Delta E_M:\Delta E_N=1:4$，选项C错误；两粒子的加速度之比为：$a_M:a_N=1:2$，则粒子打在极板上时，竖直方向分速度之比为：$v_{yM}:v_{yN}=1:2$，所以打到上极板时的速度之比为：$v_M:v_N=\sqrt{v_{yM}^2+v^2}:\sqrt{v_{yN}^2+v^2}\neq 1:2$，故D错误。故选B。

点睛 根据平抛运动规律得到运动时间相等；由竖直位移的关系、牛顿定律和位移公式即可求解电量之比；求出电场力做功之比，得到电势能减少量之比，由动能定理得到动能增量之比；根据速度的合成，可求打到上极板时的速度之比。

13. (1) 1000 V (2) $y=\frac{1}{6}x^2(x>0)$

解析 (1) 设粒子 P 的质量为 m、带电荷量为 q，从 O 点进入匀强电场时的速度大小为 v_0。由题意可知，粒子 P 在 y 轴右侧匀强电场中做类平抛运动。设该粒子从 O 点运动到 $M(\sqrt{3}\text{ m},1\text{ m})$ 点所用时间为 t_0，由类平抛运动规律可得：$x_M=v_0t_0$，$y_M=\frac{1}{2}\frac{qE}{m}t_0^2$，解得 $v_0=\sqrt{2}\times10^4$ m/s。在金属板 A、B 之间，由动能定理得：$qU_{AB}=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得 $U_{AB}=1000$ V。

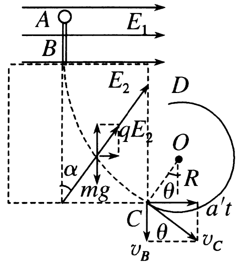
(2) 设 P、Q 在右侧电场中运动的加速度分别为 a_1、a_2，粒子 Q 从坐标 $N(x、y)$ 点释放后，经时间 t 与粒子 P 相遇。由牛顿运动定律及类平抛运动的规律和几何关系可得：对于 P 有：$Eq=ma_1$，对于 Q 有：$Eq=2ma_2$，又：$x=v_0t$，$\frac{1}{2}a_1t^2=y+\frac{1}{2}a_2t^2$，联立以上各式解得：$y=\frac{1}{6}x^2$，其中 $x>0$，即粒子 Q 的释放点 $N(x,y)$ 的坐标满足方程：$y=\frac{1}{6}x^2(x>0)$。

14. (1) $\frac{4\pi\rho gdr^3}{3eU}$ $\frac{g\rho r^2}{9\eta}$ 方向竖直向下 (2) g 方向竖直向上 $\frac{4}{3}\pi\rho r^3(2gd-v_1^2)$

解析 (1) 油滴静止时，电场力与重力平衡，有：$\frac{qU}{d}=mg$，匀速下降时，有 $\frac{qU}{2d}+6\pi\eta rv=mg$ 其中质量 $m=\frac{4}{3}\pi\rho r^3$，联立以上各式可得 $n=\frac{q}{e}=\frac{4\pi\rho gdr^3}{3eU}$，$v=\frac{g\rho r^2}{9\eta}$，方向竖直向下。

(2) ①大油滴质量为 $2m$，所带电荷量为 $2q$，当它运动到下极板时速度恰好为零，故：$2q\frac{2U}{d}-2mg=2ma$，联立解得 $a=g$，方向竖直向上。②油滴从上极板到下极板由动能定理可得：$2mgd-2q\cdot2U+W_f=0-\frac{1}{2}\cdot2mv_1^2$，$m=\frac{4}{3}\pi\rho r^3$，联立解得：$W_f=\frac{8}{3}\pi\rho gdr^3-\frac{4}{3}\pi\rho v_1^2r^3=\frac{4}{3}\pi\rho r^3(2gd-v_1^2)$。

15. (1) 6 m/s (2) $\frac{16}{15}$ s 10 m/s (3) $\frac{50}{23}$ m



第15题答图

解析 (1) 小球沿杆下滑过程中受到的滑动摩擦力大小：$F_f=\mu qE_1$，小球沿杆下滑的加速度大小：$a=\frac{mg-F_f}{m}$，由 $v_B^2=2aL$ 得：$v_B=6$ m/s。

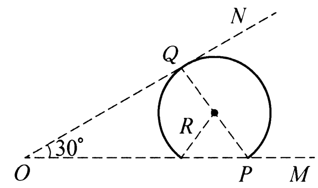
(2) 小球离开 B 点后在电场 E_2 中受力如答图所示。因为 $qE_2\cos\alpha=8$ N，恰好与重力($mg=8$ N)平衡，所以可判定小球在电场 E_2 中做类平抛运动，加速度

大小 $a' = \dfrac{qE_2 \sin\alpha}{m}$，小球过 C 点时，有：$\dfrac{v_B}{a't} = \tan\theta$，过 C 点时，速度大小：$v_C = \dfrac{v_B}{\sin\theta}$，解得：$t = \dfrac{16}{15}$ s，$v_C =$ 10 m/s。

(3) 设小球到达 D 点的速度大小为 v_D，则：$mg = m\dfrac{v_D^2}{R}$，小球从 C 点运动到 D 点的过程，根据机械能守恒定律有：$\dfrac{1}{2}mv_C^2 = \dfrac{1}{2}mv_D^2 + mg(R + R\cos\theta)$，解得 $R = \dfrac{50}{23}$ m。

专题十三　带电粒子在磁场中的运动

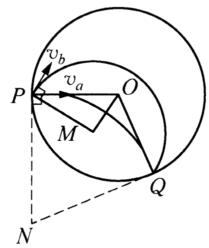
1. D



第 1 题答图

解析　如答图所示为带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹示意图，设出射点为 P，粒子运动轨迹与 ON 的交点为 Q，粒子入射方向与 OM 成 30°角，则射出磁场时速度方向与 MO 成 30°角，由几何关系可知，$PQ \perp ON$，故出射点到 O 点的距离为轨迹圆直径的 2 倍，即 $4R$，又粒子在匀强磁场中运动的轨迹半径 $R = \dfrac{mv}{qB}$，$\overline{OP} = \dfrac{2R}{\sin 30°} = 4R = \dfrac{4mv}{qB}$，所以 D 正确。

2. BD

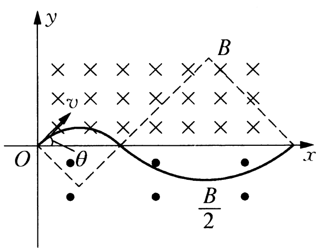


第 2 题答图

解析　根据题意，两个粒子出射位置相同，且 a 粒子速度方向改变 60°后离开磁场，粒子不可能向上偏转，所以粒子向下偏转，作出它们的运动轨迹如答图所示。由平面几何知识可得出，v_a 方向的粒子运动了六分之一个圆周，而 v_b 方向的粒子运动了二分之一个圆周，又因它们的周期相等，所以运动的时间之比为 1∶3，选项 B 正确；如答图所示，PN 为 v_a 方向运动的粒子的轨迹半径，PM 为 v_b 方向运动的粒子的轨迹半径，由于 $\angle POQ = 120°$，所以沿 v_a、v_b 方向运动粒子的圆周半径分别为 $\overline{PN} = \sqrt{3}PO$，$\overline{PM} = \dfrac{\sqrt{3}}{2}PO$，故半径之比为 2∶1，选项 C 错误；根据洛伦兹力提供向心力，圆周运动的半径为：$R = \dfrac{mv}{qB}$，由于粒子是完全相同的，所以它们的速度之比即为半径之比，速度之比也为 2∶1，故选项 A 错误；a 粒子运动的弧长为 $\dfrac{1}{6} \times 2\pi R_a$，$b$ 粒子运动的弧长为 $\dfrac{1}{2} \times 2\pi R_b$，又因它们的半径之比为 2∶1，所以运动的弧长之比为 2∶3，选项 D 正确。故选 BD。

点睛　根据要求画出粒子的运动轨迹；根据周期相等以及运动轨迹求出时间之比，然后根据轨迹及粒子的运动规律找出半径，求出半径之比，进而得出速度之比、轨迹长度之比。

3. BCD

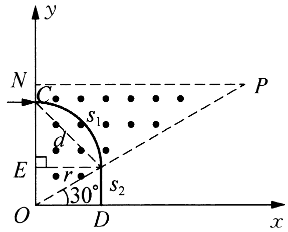


第 3 题答图

解析　判断可知，粒子在第一象限沿顺时针方向运动，而在第四象限沿逆时针方向运动，故不可能回到原点 O，故 A 错误。因第四象限中磁感应强度为第一象限中的一半，故第四象限中的轨迹半径为第一象限中轨迹半径的 2 倍，如答图所示，由几何关系可知，负电荷在第一象限轨迹所对应的圆心角为 60°，在第四象限轨迹所对应的圆心角也为 60°，在一个周期内，粒子在第一象限运动的时间为 $t_1 = \dfrac{60°}{360°}T = \dfrac{\pi m}{3qB}$；同理，在第四象限运动的时间为 $t_2 = \dfrac{60°}{360°}T' = \dfrac{1}{6} \cdot \dfrac{2\pi m}{q\dfrac{1}{2}B} = \dfrac{2\pi m}{3qB}$；完成一次周期性运动的时间为 $t_1 + t_2 = \dfrac{\pi m}{qB}$，故 B 正确。由 $r = \dfrac{mv}{qB}$，知粒子做圆周运动的半径与 B 成反比，则粒子在 x 轴上方和下方两磁场中运动的半径之比为 1∶2，故 C 正确。根据几何知识得：粒子第二次射入 x 轴上方磁

场时，沿 x 轴前进的距离为 $x = R + 2R = 3R$，故 D 正确。

4. （1）$\frac{4U}{d^2B^2}$　（2）$\frac{Bd^2}{4U}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\sqrt{3}}{3}\right)$

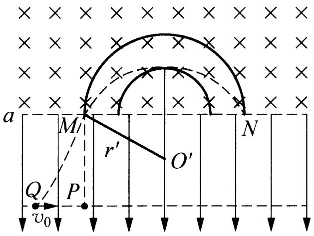


第 4 题答图

解析　（1）粒子从静止被加速的过程，根据动能定理得：$qU = \frac{1}{2}mv_0^2$，解得：$v_0 = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$。根据题意，作出粒子的运动轨迹如答图所示，由几何关系可知，该粒子在磁场中运动的轨迹半径为：$r = \frac{\sqrt{2}}{2}d$，粒子在磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，即：$qv_0B = m\frac{v_0^2}{r}$，联立方程得：$\frac{q}{m} = \frac{4U}{d^2B^2}$。

（2）根据题意，粒子在磁场中运动的轨迹为四分之一圆周，长度为：$s_1 = \frac{1}{4}\cdot 2\pi r = \frac{\sqrt{2}}{4}\pi d$，粒子射出磁场后到运动至 x 轴，运动的轨迹长度为：$s_2 = r\cdot\tan 30° = \frac{\sqrt{6}}{6}d$，粒子从射入磁场到运动至 x 轴的过程中，一直匀速率运动，则：$t = \frac{s_1 + s_2}{v_0}$，解得：$t = \frac{Bd^2}{4U}\left(\frac{\pi}{2}+\frac{\sqrt{3}}{3}\right)$。

5. （1）$t = \frac{\sqrt{3}RB}{E}$　（2）$v_0 = \frac{qBR}{m}$



第 5 题答图

解析　（1）设粒子在磁场中运动的速度大小为 v，所受洛伦兹力提供向心力，有：$qvB = m\frac{v^2}{\sqrt{3}R}$，设粒子在电场中运动所受电场力为 F，有 $F = qE$ ②；设粒子在电场中运动的加速度为 a，根据牛顿第二定律有：$F = ma$ ③；粒子在电场中做初速度为零的匀加速直线运动，有：$v = at$ ④；联立①②③④式得：$t = \frac{\sqrt{3}RB}{E}$⑤。

（2）粒子进入匀强磁场后做匀速圆周运动，其周期与速度、半径无关，运动时间只由粒子所通过的圆弧所对的圆心角的大小决定，故当轨迹与内圆相切时，所用的时间最短。设粒子在磁场中的轨迹半径为 r'，由几何关系可得 $(r'-R)^2 + (\sqrt{3}R)^2 = r'^2$ ⑥。设粒子进入磁场时速度方向与 ab 的夹角为 θ，即圆弧所对圆心角的一半，由几何关系知 $\tan\theta = \frac{\sqrt{3}R}{r'-R}$ ⑦；粒子从 Q 射出后在电场中做类平抛运动，在电场方向上的分运动和从 P 释放后的运动情况相同，所以粒子进入磁场时沿竖直方向的速度同样为 v，在垂直于电场方向的分速度始终等于 v_0，由运动的合成和分解可得 $\tan\theta = \frac{v}{v_0}$ ⑧，联立①⑥⑦⑧式得 $v_0 = \frac{qBR}{m}$ ⑨。

6. （1）$B = \frac{4mv_0}{qd}$　（2）$t = \frac{(53\pi + 72)d}{180v_0}$　（3）$\Delta t_m = \frac{d}{5v_0}$

解析　（1）根据 $qvB = m\frac{v^2}{r_0}$ 得粒子圆周运动的半径：$r_0 = \frac{mv_0}{qB}$，由题意知：$r_0 = \frac{d}{4}$，解得：$B = \frac{4mv_0}{qd}$。

（2）入射速度为 $5v_0$ 时，圆周运动半径为 $r = \frac{5}{4}d$，设粒子在矩形磁场中的偏转角为 α，由 $d = r\sin\alpha$，得：$\sin\alpha = \frac{4}{5}$，即 $\alpha = 53°$。在一个矩形磁场中的运动时间：$t_1 = \frac{\alpha}{360°}\frac{2\pi m}{qB}$，解得：$t_1 = \frac{53\pi d}{720v_0}$，直线运动的时间：$t_2 = \frac{2d}{v}$，解得：$t_2 = \frac{2d}{5v_0}$，则：$t = 4t_1 + t_2 = \left(\frac{53\pi + 72}{180}\right)\frac{d}{v_0}$。

（3）将中间两磁场分别向中央移动距离 x，粒子向上的偏移量：$y = 2r(1-\cos\alpha) + x\tan\alpha$，由 $y \leqslant 2d$，解得：$x \leqslant \frac{3}{4}d$。则当 $x_m = \frac{3}{4}d$ 时，Δt 有最大值，粒子直线运动路程的最大值：$s_m = \frac{2x_m}{\cos\alpha} + (2d - 2x_m) = 3d$，增

加路程的最大值：$\Delta s_m = s_m - 2d = d$，增加时间的最大值：$\Delta t_m = \frac{\Delta s_m}{v} = \frac{d}{5v_0}$。

7. BCD

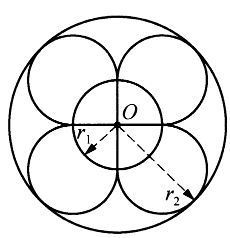
解析　A、B选项：电子的轨迹半径为 R，由几何知识得，$R\sin 30° = R - L$，得 $R = 2L$，电子在磁场中运动时间：$t = \frac{T}{6}$，又：$T = \frac{2\pi R}{v}$，得：$t = \frac{2\pi L}{3v_0}$，选项 A 错误、B 正确；C 选项：设磁场区域的圆心坐标为$(x,\ y)$其中：$x = \frac{1}{2}R\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}L,\ y = \frac{L}{2}$，故 C 正确；D 选项：根据几何三角函数关系可得，$R - L = R\cos 60°$，解得 $R = 2L$，所以电子的圆周运动的圆心坐标为$(0,\ -L)$，选项 D 正确。故选 BCD。

点睛　由题意确定粒子在磁场中运动轨迹是解题的关键。由几何关系可确定运动圆弧的半径与已知长度的关系，从而确定圆磁场的圆心，求出圆磁场的圆心位置，再运用几何关系来确定电子的运动轨迹的圆心坐标，并能算出粒子在磁场中运动时间。

8. BD

解析　边界上有粒子射出的范围是以偏转圆直径为弦所对应的边界圆弧长，根据题意，有粒子射出的边界圆弧对应的圆心角为 $\theta = 90°$，偏转圆半径为：$r = R\sin 45° = \frac{\sqrt{2}}{2}R,\ qvB = m\frac{v^2}{r}$，联立得：$v = \frac{\sqrt{2}qBR}{2m}$，所以选项 B 对、A 错；若磁感应强度增加到原来的$\sqrt{2}$倍，则粒子的轨迹圆半径为$\frac{r}{\sqrt{2}}$，轨迹圆直径对应的弦长为 R，则有粒子射出的边界圆弧对应的圆心角为 $\theta' = 60°$，所以弧长变为原来$\frac{2}{3}$，选项 D 对、C 错。选 BD。

9. (1) ${}^2_1H + {}^2_1H \to {}^3_2He + {}^1_0n$　(2) $B > \frac{4}{qr_1}\sqrt{\frac{mE_k}{2}}$　(3) $T = \frac{(6\pi + 8)m}{qB_0}$



第 9 题答图

解析　(1) 两个氘核(${}^2_1H$)结合成一个氦核(${}^3_2He$)的核反应方程为：${}^2_1H + {}^2_1H \to {}^3_2He + {}^1_0n$。

(2) 若氘核不从磁场中射出，则氕核一定不从磁场中射出。因此只要满足氘核不从磁场中射出即可。设氘核恰好不从磁场中射出时的轨迹圆半径为 R_1，由几何关系得 $R_1 = \frac{r_2 - r_1}{2}$ ②，由洛伦兹力提供向心力得：$qvB = m\frac{v^2}{R_1}$，由题意可知：$E_k = \frac{1}{2}2mv^2$，解得：$B = \frac{4}{qr_1}\sqrt{\frac{mE_k}{2}}$，磁感应强度应满足的条件为：$B > \frac{4}{qr_1}\sqrt{\frac{mE_k}{2}}$。

(3) 氕核(${}^1_1H$)运动的轨迹如答图所示，要使沿半径方向运动的氕核(${}^1_1H$)恰好经过约束区的外边界，运动轨迹圆与磁场外边界圆相切。设这时轨迹圆的半径为 R_2，速度为 v_2，有几何关系有 $r_1^2 + R_2^2 = (r_2 - R_2)^2$，洛伦兹力充当向心力，根据牛顿第二定律有：$qv_2B_0 = m\frac{v_2^2}{R_2}$，氕核(${}^1_1H$)在约束区做匀速圆周运动的周期：$T = \frac{2\pi m}{qB_0}$，氕核(${}^1_1H$)在约束区中运动一次的时间 $t_1 = \frac{3}{4}T$，氕核(${}^1_1H$)在在反应区沿半径运动一次的时间 $t_2 = \frac{r_1}{v_2}$，氕核(${}^1_1H$)运动的周期：$T = 4t_1 + 8t_2$，解得：$T = \frac{(6\pi + 8)m}{qB_0}$。

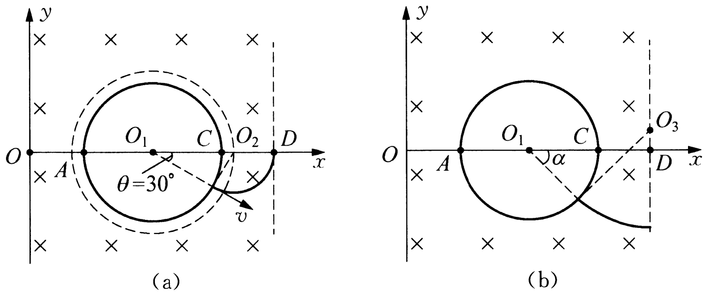
说明：(1)写成 $2{}^2_1H \to {}^3_2He + {}^1_0n$ 或 $2{}^2_1H \to {}^3_2He + {}^1_0n + \gamma$ 也可，(2)写成 $B \geqslant \frac{4}{qr_1}\sqrt{\frac{mE_k}{2}}$ 也可。

10. (1) $\frac{\sqrt{3}qBL}{3m}$，斜向右下方与 x 轴正方向的夹角为 30°　(2) $\frac{\sqrt{2}qBL}{m}$

解析　(1) 分析可知，以相同速率从 O_1 点射出的粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心的轨迹在虚线圆上，如答图(a)所示。设能从直线 $x = 2\sqrt{3}L$ 边界出去的粒子的速度大小为 v_1，则：$qv_1B = m\frac{v_1^2}{r_1},\ v_1 = \frac{qBr_1}{m}$，从答图(a)中可知，速度最小是从 D 点飞出，则：$\sqrt{r_1^2 + L^2} + r_1 = \sqrt{3}L$，解得，$r_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}L$，最小速度

为：$v_1=\frac{\sqrt{3}qBL}{3m}$，对应角度为 θ，$\tan\theta=\frac{r_1}{L}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，$\theta=30°$，所以以最小速度飞出的粒子的速度方向是斜向右下方与 x 轴正方向的夹角为 30°。

(2) 粒子垂直于直线 $x=2\sqrt{3}L$ 边界出去，作出粒子运动的轨迹如答图(b) 所示。



第 10 题答图

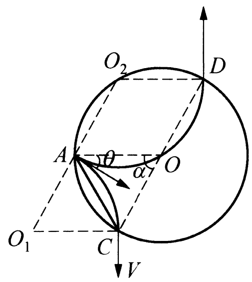
方法一：设粒子的速度方向是斜向右下方与 x 轴正方向的夹角为 α，粒子做匀速圆周运动的轨迹半径为 r_2，则：$L\cos\alpha+r_2\sin\alpha=\sqrt{3}L$，$\sqrt{L^2+r_2^2}\left(\frac{L}{\sqrt{L^2+r_2^2}}\cos\alpha+\frac{r_2}{\sqrt{L^2+r_2^2}}\sin\alpha\right)=\sqrt{3}L$。令 $\frac{L}{\sqrt{L^2+r_2^2}}=\sin\varphi$，$\frac{r_2}{\sqrt{L^2+r_2^2}}=\cos\varphi$，上式得：$\sqrt{L^2+r_2^2}\sin(\alpha+\varphi)=\sqrt{3}L$，当 $\alpha+\varphi=90°$ 时，r_2 最小，解得：$r_2=\sqrt{2}L$。

$qv_2B=m\frac{v_2^2}{r_2}$，$v_2=\frac{qBr_2}{m}$，得：$v_2=\frac{\sqrt{2}qBL}{m}$。

方法二：利用数学知识知：$\overline{O_1O_3}=\sqrt{L^2+r_2^2}$，得出 O_3 位置在 D 点时 $\overline{O_1O_3}$ 最小，则 r_2 也最小，同样可求出 $r_2=\sqrt{2}L$，以下同。

11. BC

解析　由于电子经磁场偏转后从 C 点以速率 v 射出磁场，根据左手定则可知磁场方向垂直圆面向里，故 A 错误；画出电子和质子的运动轨迹如答图所示，其中 O_1 和 O_2 分别为电子、质子的运动轨迹对应的圆心，根据图中几何关系可得△OAC 和△O_1AC 均为等边三角形，则 $\angle O_1=60°$，电子运动半径为 R，电子在磁场中运动的路程为 $s=\frac{60°}{360°}\times2\pi R=\frac{1}{3}\pi R$，故 B 正确；根据图中几何关系可得 O_2AOD 为菱形，则质子在磁场中运动的半径为 R，根据 $R=\frac{m_Hv_H}{qB}=\frac{m_ev}{qB}$ 可得，质子在磁场中运动的速率为 $v_H=kv$，故 C 正确；电子通过磁场所用的时间 $t_e=\frac{\frac{1}{3}\pi R}{v}$，质子通过磁场所用的时间 $t_H=\frac{\frac{1}{3}\times2\pi R}{kv}=\frac{2\pi R}{3kv}$，则电子、质子通过磁场所用的时间之比 $\frac{t_e}{t_H}=\frac{\pi R}{3v}\times\frac{3kv}{2\pi R}=k:2$，故 D 错误。故选 BC。



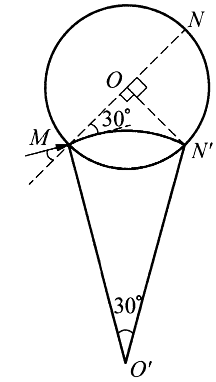
第 11 题答图

12. BD

解析　作出粒子的运动轨迹如答图所示，其中 O' 为粒子运动轨迹的圆心，由几何关系可知：$\angle MO'N'=30°$。则 $\sqrt{2}R=2r\sin15°$，所以：$r=\frac{\sqrt{2}R}{2\sin15°}=(\sqrt{4+2\sqrt{3}})R=(\sqrt{3}+1)R$，选项 A 错误、B 正确。由粒子在磁场中做匀速圆周运动的规律可知：$qvB=m\frac{v^2}{r}$，而：$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$。由于粒子转过 30° 所用时间与圆

筒转过 90°所用时间相同。所以$\frac{30°}{360°}T=\frac{90°}{360°}\times\frac{2\pi}{\omega}$，将 T 代入得：$B=\frac{m\omega}{3q}$，所以选项 C 错误，D 正确。选 BD。

点睛 本题有一个等时关系：带电粒子做匀速圆周运动的时间与圆筒转过的时间相等，圆筒转过 90°时，恰从 N 点射出，画出粒子做匀速圆周运动的轨迹，很容易看出带电粒子转过 30°角。由几何关系就能求出粒子做匀速圆周运动的半径，本题计算涉及非特殊角，要用到三角函数的半角公式(或和差角公式)，最终由等时关系求磁感应强度的大小。注意本题中的带电粒子入射方向不是朝着圆心方向，所以射出方向也不是背着圆心方向的，要根据题意画出粒子的轨迹。



第 12 题答图

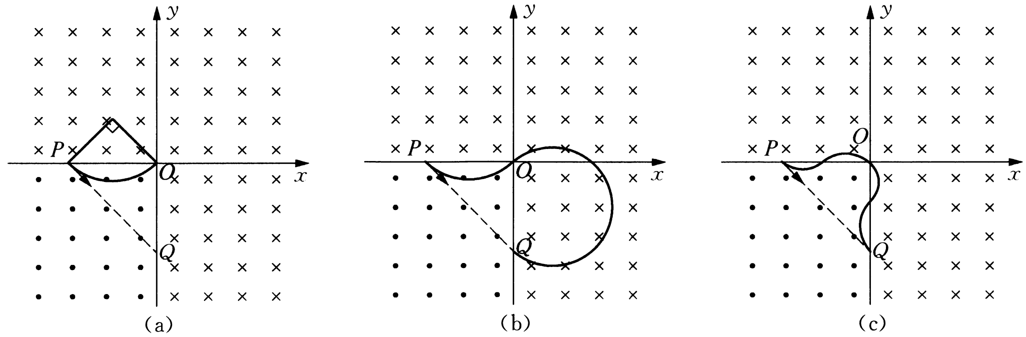
13. ABD

解析 根据洛伦兹力提供向心力，得：$Bqv_0=\frac{mv^2}{R}$，可知粒子的运动半径 $R=a$，故 A 正确；当 $\theta=60°$ 入射时，粒子恰好从 A 点飞出，故 B 正确；当 $\theta=60°$ 飞入的粒子在磁场中运动时间恰好是$\frac{T}{6}$，是在磁场中运动时间最长的；当 $\theta=0°$ 飞入的粒子在磁场中，粒子恰好从 AC 中点飞出，在磁场中运动时间也恰好是$\frac{T}{6}$，θ 从 0°到 60°，粒子在磁场中运动的轨迹对应的圆弧的弦长先减小后增大，所以粒子在磁场中运动时间先减小后增大，故 C 错误；当 $\theta=0°$ 飞入的粒子在磁场中，粒子恰好从 AC 中点飞出，因此在 AC 边界上只有一半区域有粒子射出，故 D 正确。选 ABD。

点睛 带电粒子以相同的速率、不同的速度方向进入磁场，运动轨迹的曲率半径相同，可根据磁场的边界来确定粒子运动情况，并结合半径与周期公式来分析讨论。θ 从 0°到 60°的过程中，粒子在磁场中运动的轨迹对应的圆弧的弦长先减小后增大，所以粒子在磁场中运动时间先减小后增大是该题的关键。

14. AC

解析 若电子从 P 点出发恰好经原点 O 第一次射出磁场分界线，运动轨迹如答图(a)所示，$\angle OPQ=45°$，轨迹圆的半径为 $r=\frac{\frac{1}{2}\overline{OP}}{\sin 45°}=L$，则微粒运动的路程为圆周的$\frac{1}{4}$，即为$\frac{\pi L}{2}$，故 A 正确；若电子从 P 点出发经原点 O 到达 Q 点，运动轨迹可能如答图(b)或(c)所示，$\overline{OP}=n\cdot 2r'\sin 45°$，$n$ 为奇数时：$s=n\cdot 2\pi r'=2\pi L$；n 为偶数时：$s=2n\cdot\frac{1}{4}\times 2\pi r'=\pi L$。因此微粒运动的路程可能为 $2\pi L$，也可能为 πL。故 B、D 错误，C 正确。故选 AC。



第 14 题答图

点睛 粒子在洛伦兹力作用下，做匀速圆周运动，根据题意可知，电子从 P 点出发恰好经原点 O 第一次射出磁场分界线，其轨迹半径是确定的；而电子从 P 点出发经原点 O 到达 Q 点，其运动轨迹的半径可以

是不同的，应考虑多种情况，应根据不同轨迹来确定运动路程，呈多解性。

专题十四　带电粒子在复合场中的运动

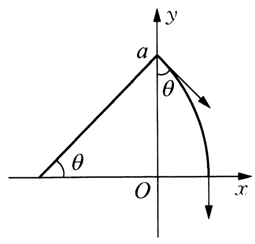
1. BC

解析　对图甲、丙所示两种情况，小球在竖直方向上做竖直上抛运动，上升的最大高度 $h_1=h_3=\dfrac{v_0^2}{2g}$，选项C正确；对图丁所示情况，上升的最大高度 $h_4=\dfrac{v_0^2}{2a}$，不明确 a 与 g 的关系，无法比较 h_4 和 h_1，选项D错误；对图乙所示情况，因洛伦兹力作用，小球在最大高度处水平速度 v_x 不为0，由机械能守恒定律，可得最大高度 $h_2<h_1$，选项B正确。选BC。

2. B

解析　设板长为 L，加上电场后，粒子做类平抛运动，则 $L=v_0t$、$d=\dfrac{1}{2}at^2$，又 $a=\dfrac{Eq}{m}$，解得 $E=\dfrac{2mdv_0^2}{qL^2}$；加磁场后，粒子在磁场中做匀速圆周运动，$(R-d)^2+L^2=R^2$，又 $qv_0B=m\dfrac{v_0^2}{r}$，可得 $B=\dfrac{2mdv_0}{q(d^2+L^2)}$；若同时加电场和磁场，$Eq>Bqv_0$，粒子向上偏转做曲线运动，从 O' 上方射出，选项B正确。

3. (1) $v_{min}=\dfrac{qBa}{m}$　与 y 轴夹角 $\theta=90°$　(2) $t_1:t_2=5:1$　(3) $v=\sqrt{\dfrac{2q^2B^2a^2}{m^2}+\dfrac{2qEb}{m}}$



第3题答图

解析　(1) 设粒子速度 v 与 y 轴负方向夹角为 θ，轨道半径为 R，如答图所示，垂直打到 x 轴上时满足：$a=R\sin\theta$，又：$qvB=m\dfrac{v^2}{R}$，得：$v=\dfrac{qBR}{m}=\dfrac{qBa}{m\sin\theta}$。当 $\theta=90°$ 时，有：$v_{min}=\dfrac{qBa}{m}$。

(2) 最长时间对应粒子的初速度与 y 轴正方向夹角30°，粒子转过150°，$t_{max}=\dfrac{150°}{360°}\times T$，最短时间对应粒子的初速度与 y 轴负方向夹角30°，粒子转过30°，$t_{min}=\dfrac{30°}{360°}\times T$，故：$t_{max}:t_{min}=5:1$。

(3) 设该粒子从 y 轴射出时与 y 轴负方向夹角为 θ'，则有：$R-R\cos\theta'=(\sqrt{2}-1)a$，$R\sin\theta'=a$，可得：$\theta'=45°$，$R=\sqrt{2}a$。可得初速度为：$v_0=\dfrac{qBR}{m}=\dfrac{\sqrt{2}qBa}{m}$；穿过电、磁场到达 y 轴上 $y=-b$ 的点速度为 v，则：$qEb=\dfrac{1}{2}mv^2-\dfrac{1}{2}mv_0^2$，得：$v=\sqrt{\dfrac{2q^2B^2a^2}{m^2}+\dfrac{2qEb}{m}}$。

点睛　由题意，所有粒子经过磁场偏转后都垂直打到 x 轴上，画出运动轨迹，通过几何关系求得最小的轨迹半径，其速度也最小，从而求得最小速度；画出两个边界方向上出射的粒子的轨迹，分析在第一象限内的运动情况，可知与 y 轴正方向成30°角的粒子运动时间最长，与 y 轴正方向成150°角的粒子运动时间最短，由几何知识可确定粒子的速度偏向角 θ 的最小值和最大值，而速度的偏向角等于轨迹的圆心角 θ，根据 $t=\dfrac{\theta}{2\pi}T$，即可得到粒子在磁场中的最短时间和最长时间；穿过第四象限的电、磁场时做变加速曲线运动，应利用动能定理计算末速度。

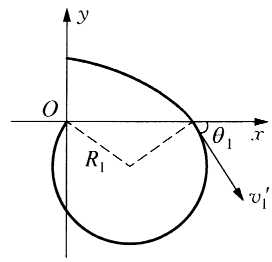
4. (1) $B=\dfrac{4U}{lv_1}$；(2) $\dfrac{q_1}{m_1}:\dfrac{q_2}{m_2}=1:4$

解析　(1) 设甲种离子所带电荷量为 q_1、质量为 m_1，在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R_1，磁场的磁感应强度大小为 B，由动能定理有：$q_1U=\dfrac{1}{2}m_1v_1^2$ ①，由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有：$q_1v_1B=m_1\dfrac{v_1^2}{R_1}$ ②，

由几何关系知：$2R_1 = l$ ③，由①②③式得：$B=\frac{4U}{lv_1}$ ④。

(2) 设乙种离子所带电荷量为 q_2、质量为 m_2，射入磁场的速度为 v_2，在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R_2。同理有：$q_2U=\frac{1}{2}m_2v_2^2$ ⑤，$q_2v_2B=m_2\frac{v_2^2}{R_2}$ ⑥，由题给条件有：$2R_2=\frac{l}{2}$ ⑦，由①②③⑤⑥⑦式得，甲、乙两种离子的比荷之比为：$\frac{q_1}{m_1}:\frac{q_2}{m_2}=1:4$ ⑧。

5. (1) $s_1=\frac{2\sqrt{3}}{3}h$　(2) $B=\sqrt{\frac{6mE}{qh}}$　(3) $s_2'-s_2=\frac{2\sqrt{3}}{3}(\sqrt{2}-1)h$



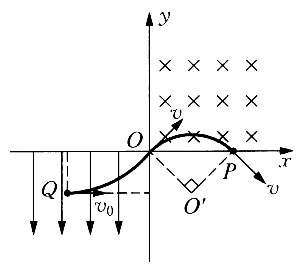
第 5 题答图

解析　(1) ${}_1^1H$ 在电场中做类平抛运动，在磁场中做圆周运动，运动轨迹如答图所示。设 ${}_1^1H$ 在电场中的加速度大小为 a_1，初速度大小为 v_1，它在电场中的运动时间为 t_1，第一次进入磁场的位置到原点 O 的距离为 s_1。由运动学公式有：$s_1=v_1t_1$ ①，$h=\frac{1}{2}a_1t_1^2$ ②，由题给条件，${}_1^1H$ 进入磁场时速度的方向与 x 轴正方向夹角 $\theta_1=60°$。${}_1^1H$ 进入磁场时速度 y 分量的大小为 $a_1t_1=v_1\tan\theta_1$ ③，联立以上各式得：$s_1=\frac{2\sqrt{3}}{3}h$ ④。

(2) ${}_1^1H$ 在电场中运动时，由牛顿第二定律有：$qE=ma_1$ ⑤，设 ${}_1^1H$ 进入磁场时速度的大小为 v_1'，由速度合成法则有：$v_1'=\sqrt{v_1^2+(a_1t_1)^2}$ ⑥，设磁感应强度大小为 B，${}_1^1H$ 在磁场中运动的圆轨道半径为 R_1，由洛伦兹力公式和牛顿第二定律有：$qv_1'B=\frac{mv_1'^2}{R_1}$ ⑦，由几何关系得：$s_1=2R_1\sin\theta_1$ ⑧，联立以上各式得：$B=\sqrt{\frac{6mE}{qh}}$ ⑨。

(3) 设 ${}_1^2H$ 在电场中沿 x 轴正方向射出的速度大小为 v_2，在电场中的加速度大小为 a_2，由题给条件得：$\frac{1}{2}(2m)v_2^2=\frac{1}{2}mv_1^2$ ⑩，由牛顿第二定律有：$qE=2ma_2$ ⑪，设 ${}_1^2H$ 第一次射入磁场时的速度大小为 v_2'，速度的方向与 x 轴正方向夹角为 θ_2，入射点到原点的距离为 s_2，在电场中运动的时间为 t_2。由运动学公式有：$s_2=v_2t_2$ ⑫，$h=\frac{1}{2}a_2t_2^2$ ⑬，$v_2'=\sqrt{v_2^2+(a_2t_2)^2}$ ⑭，$\sin\theta_2=\frac{a_2t_2}{v_2'}$ ⑮，联立以上各式得：$s_2=s_1$，$\theta_2=\theta_1$，$v_2'=\frac{\sqrt{2}}{2}v_1'$ ⑯。设 ${}_1^2H$ 在磁场中做圆周运动的半径为 R_2，由⑦⑯式及粒子在匀强磁场中做圆周运动的半径公式得：$R_2=\frac{(2m)v_2'}{qB}=\sqrt{2}R_1$ ⑰，所以出射点在原点左侧。设 ${}_1^2H$ 进入磁场的入射点到第一次离开磁场的出射点的距离为 s_2'，由几何关系有：$s_2'=2R_2\sin\theta_2$ ⑱，联立④⑧⑯⑰⑱式得 ${}_1^2H$ 第一次离开磁场时得位置到原点 O 的距离为：$s_2'-s_2=\frac{2\sqrt{3}}{3}(\sqrt{2}-1)h$ ⑲。

6. (1) $v=\sqrt{2}v_0$　方向与 x 轴方向的夹角为 45° 角斜向上　(2) $\frac{E}{B}=\frac{v_0}{2}$



第 6 题答图

解析　(1) 粒子在电场中由 Q 到 O 做类平抛运动，设 Q 点速度 v 与 $+x$ 方向夹角为 α，Q 点到 x 轴的距离为 L，到 y 轴的距离为 $2L$，粒子的加速度为 a，运动时间为 t，根据类平抛运动的规律，有：x 方向 $2L=v_0t$ ①，y 方向 $L=\frac{1}{2}at^2$ ②，粒子到达 O 点时沿 y 轴方向的分速度为 $v_y=at$ ③，又 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$ ④，解得 $\tan\alpha=1$，即 $\alpha=45°$，粒子到达 O 点时速度方向与 x 轴方向的夹角为 45°角斜向上。粒子到达 O 点时的速度大小为 $v=\frac{v_0}{\cos 45°}=$

$\sqrt{2}v_0$ ⑤。

(2) 设电场强度为 E,粒子电荷量为 q,质量为 m,粒子在电场中受到的电场力为 F, $F=qE$,粒子在电场中运动的加速度:$a=\frac{qE}{m}$ ⑥,设磁感应强度大小为 B,粒子做匀速圆周运动的半径为 R,洛伦兹力提供向心力,有:$qvB=m\frac{v^2}{R}$ ⑦,根据几何关系可知:$\sqrt{2}R=2L$,即 $R=\sqrt{2}L$ ⑧,联立①②⑤⑥⑦⑧式整理可得:$\frac{E}{B}=\frac{v_0}{2}$。

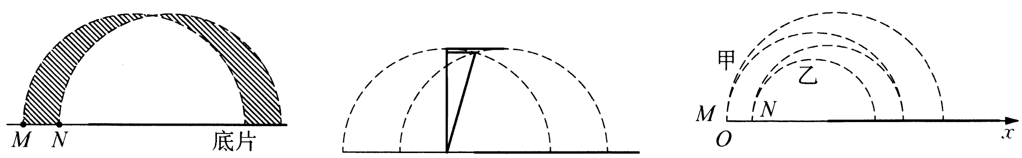
7. (1) $x=\frac{4}{B}\sqrt{\frac{mU_0}{q}}-L$ (2) $d=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mU_0}{q}}-\sqrt{\frac{4mU_0}{qB^2}-\frac{L^2}{4}}$

(3) $L<\frac{2}{B}\sqrt{\frac{m}{q}}[2\sqrt{(U_0-\Delta U)}-\sqrt{2(U_0+\Delta U)}]$

解析 (1) 设甲种离子在磁场中运动的轨迹半径为 r_1。离子先经过电场加速:$qU_0=\frac{1}{2}\times 2mv^2$,再进入磁场:$qvB=2m\frac{v^2}{r_1}$,联立解得:$r_1=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mU_0}{q}}$,又入射的甲种离子有宽度 L,根据几何关系得:$x=2r_1-L$,代入 r_1 解得:$x=\frac{4}{B}\sqrt{\frac{mU_0}{q}}-L$。

(2) 磁场中甲种离子经过的区域如答图(a)所示。图形可由左侧半圆向右平移 L 得到,最窄处位于顶部中点到两圆弧交点处。由几何关系得:$d=r_1-\sqrt{r_1^2-\left(\frac{L}{2}\right)^2}$,解得:$d=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mU_0}{q}}-\sqrt{\frac{4mU_0}{qB^2}-\frac{L^2}{4}}$。

(3) 从(1)中推导可知,离子质量越大,加速电压越大,则离子在磁场中运动的轨道半径越大。如答图(c)所示,以 M 为坐标原点向右建立直线坐标系。在照相底片上,甲种离子到达区域左端坐标为 $x_1=2r_{1\min}$。其中,$r_{1\min}=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{m(U_0-\Delta U)}{q}}$ 设乙种离子在磁场运动的轨道半径为 r_2,在照相底片上,乙种离子到达区域右端坐标为 $x_2=2r_{2\max}+L$,其中,$r_{2\max}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m(U_0+\Delta U)}{q}}$,为使两种离子不重叠,只要满足 $x_1>x_2$ 即可。于是有:$L<2r_{1\min}-2r_{2\max}$,解得:$L<\frac{2}{B}\sqrt{\frac{m}{q}}[2\sqrt{(U_0-\Delta U)}-\sqrt{2(U_0+\Delta U)}]$。



第7题答图

8. BC

解析 带正电小球以 $v_0=2\text{ m/s}$ 平行于 x 轴抛出,做类平抛运动,有:$R+\sqrt{R^2-x^2}=\frac{1}{2}at^2$, $x=v_0t$,解得:$t=0.2\text{ s}$, $a=40\text{ m/s}^2$,由牛顿第二定律:$mg+qE=ma$,解得:$qE=3mg$,选项A错误;小球以 $v_0=2\text{ m/s}$ 抛出后,从最高点至 A 点的过程中,速度变化量为 $\Delta v=at=8\text{ m/s}$,方向竖直向下,选项B正确;小球以 $4v_0$ 的速度抛出后,将做完整的圆周运动,从最高点至最低点的过程中,机械能增量等于电场力做功,即:$\Delta E=W=qE\cdot 2R=6mgR=3\text{ J}$,小球机械能的最大值为 $E=\Delta E+\frac{1}{2}mv_0^2=6.2\text{ J}$,选项C正确;设当小球以 v 平行于 x 轴抛出时恰能沿轨道做完整的圆周运动,则在最高点:$mg+qE=m\frac{v^2}{R}$,得:$v=2\sqrt{5}$

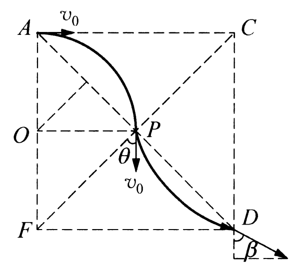
m/s，故当小球从 O 水平抛出速度增至 $2v_0 = 4\ \mathrm{m/s} < 2\sqrt{5}\ \mathrm{m/s}$，将不能沿轨道做完整的圆周运动，选项 D 错误。故选 BC。

9. BD

解析 小金属块沿水平方向先向右做匀减速直线运动，然后向左做匀加速直线运动，故一定会与高台边缘相碰，故 A 错误、B 正确；小金属块沿水平方向先向右做匀减速直线运动，加速度大小为 $3g$，根据速度位移关系公式，有：$x_m = \frac{v_0^2}{2\times 3g} = \frac{v_0^2}{6g}$，故 C 错误；小金属块沿水平方向向右做匀减速直线运动，分速度 $v_x = v_0 - 3gt$；竖直方向做自由落体运动，分速度 $v_y = gt$；合速度 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 - 3gt)^2 + (gt)^2} = \sqrt{10g^2t^2 - 6gtv_0 + v_0^2}$，根据二次函数知识，当 $t = \frac{3v_0}{10g}$ 时，v 有极小值 $\frac{\sqrt{10}v_0}{10}$，故 D 正确。故选 BD。

点睛 本题关键是将小金属块的运动沿着水平方向和竖直方向正交分解，然后根据分运动的位移公式和速度公式列式求解；对于 D 选项，要求解出合速度的表达式，根据二次函数的知识求解极值。

10. (1) $\frac{2mv_0}{ql}$，垂直于纸面向外 (2) $E \leqslant \frac{4mv_0^2}{ql}$



第 10 题答图

解析 (1) 轨迹如答图所示，由几何关系知粒子在匀强磁场中运动的半径：$R = \frac{l}{2}$，带电粒子在磁场中运动的洛伦兹力提供向心力：$qv_0B = \frac{mv_0^2}{R}$，$B = \frac{2mv_0}{ql}$，方向垂直于纸面向外。

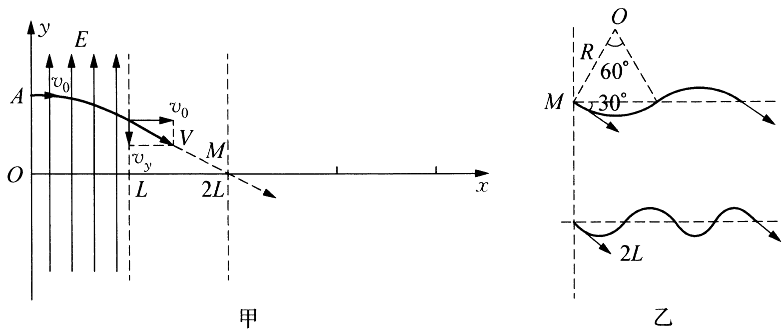
(2) 由几何关系知，带电粒子从 P 点进入电场时的速度方向与 CF 的夹角 $\theta = 45°$，平行 CD 方向进入电场，带电粒子恰从 D 点或 F 点离开电场时，电场强度 E 最大。平行 CD 方向：$t = \frac{l}{2v_0}$，平行 FD 方向：$\frac{l}{2} = \frac{at^2}{2}$，$qE_m = ma$，上述各式联立解得：$E_m = \frac{4mv_0^2}{ql}$。当 $E \leqslant \frac{4mv_0^2}{ql}$ 时，带电粒子从 DF 边离开电场。

11. (1) A 点坐标为 $\left(0, \frac{\sqrt{3}}{2}L\right)$ (2) $v_P = \frac{6nv_0}{12 + \sqrt{3}n\pi}(n = 1, 2, 3\cdots)$ 方向：水平向右。

解析 (1) 电子在电场中做类平抛运动，如答图甲所示。水平方向：$L = v_0t_1$，竖直方向：$v_y = at_1 = \frac{eE}{m}t_1$，电子离开电场时的速度：$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$，解得：$v = \frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$，速度与 x 轴方向夹角 θ，$\tan\theta = \frac{v_y}{v_0}$，解得：$\theta = 30°$，电子在电场中竖直方向的位移：$y_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = \frac{\sqrt{3}}{6}L$；电子射出电场到进入磁场前的过程做匀速直线运动，竖直方向位移：$y_2 = L\tan\theta = \frac{\sqrt{3}}{3}L$，则 A 点距 O 点竖直距离：$y_A = y_1 + y_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}L$，$A$ 点坐标为 $\left(0, \frac{\sqrt{3}}{2}L\right)$。

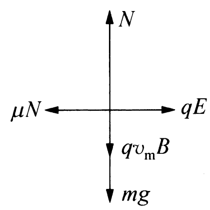
(2) 电子进入磁场后做圆周运动，由牛顿第二定律：$evB_0 = m\frac{v^2}{R}$，可得：$R = \frac{mv}{eB_0} = L$，电子在磁场中做圆周周期：$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{\sqrt{3}\pi L}{v_0}$，由分析知，在磁场变化的半个周期内粒子的偏转角为 60°，粒子在 x 轴方向上的位移恰好等于 R。运动轨迹如答图乙所示，则电子经过 x 轴的时间：$t_2 = n\frac{T}{6} = \frac{\sqrt{3}n\pi L}{6v_0}(n = 1, 2, 3\cdots)$，粒子 P 与电子相碰时的位移：$x = nR = nL(n = 1, 2, 3\cdots)$，电子从电场射出到射入磁场前的过程做匀速直线运动，运动时间为 $t_3 = \frac{L}{v_0}$，两粒子相碰的时间：$t = t_1 + t_2 + t_3 = \frac{2L}{v_0} + \frac{\sqrt{3}n\pi L}{6v_0}$，粒子 P 的速度：$v_P =$

$\frac{x}{t}$，解得：$v_P = \frac{6nv_0}{12+\sqrt{3}n\pi}$（$n = 1, 2, 3\cdots$），方向：水平向右。



第 11 题答图

12. （1）$v_A = \frac{1}{2}v_0$　（2）$W = 4\mu mgl - \frac{3}{8}mv_0^2$　$t = \frac{l}{v_0} + \frac{v_0}{6\mu g}$



第 12 题答图

解析　（1）物体 A、B 发生弹性碰撞，设 A、B 碰撞后的速度分别为 v_A、v_B，根据系统动量守恒、动能守恒，有：$\frac{1}{3}mv_0 = \frac{1}{3}mv_B + mv_A$ ①，$\frac{1}{2}\times\frac{1}{3}mv_0^2 = \frac{1}{2}\times\frac{1}{3}mv_B^2 + \frac{1}{2}mv_A^2$ ②，联立①②式可得：$v_A = \frac{1}{2}v_0$ ③。

（2）a. A 的速度达到最大值 v_m 时合力为零，受力如图所示。竖直方向合力为零，有：$N = qv_mB + mg$ ④，水平方向合力为零，有：$qE = \mu N$ ⑤，根据动能定理，有：$qEl - W = \frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$ ⑥，联立③④⑤⑥式并代入相关数据可得：$W = 4\mu mgl - \frac{3}{8}mv_0^2$。

b. 在此过程中，设 A 物体运动的平均速度为 $\bar{v}$，根据动量定理有：$qEt - \mu\bar{N}t = mv_m - mv_A$ ⑦，$\bar{N} = mg + q\bar{v}B$ ⑧，依题意有：$\bar{v}t = l$ ⑨，联立③④⑤⑦⑧⑨式并代入相关数据可得：$t = \frac{l}{v_0} + \frac{v_0}{6\mu g}$。

点睛　本题关键是明确两个物体碰撞过程中系统动量守恒、机械能也守恒；滑块 A 向右运动过程中是变加速运动，当摩擦力增加到等于电场力时，速度达到最大值，结合动能定理和动量定理列式分析。

13. （1）$E = \frac{10mv_0^2}{27qR}$　（2）$t = \frac{3\sqrt{26}\pi R}{26v_0}$　（3）$B = \frac{\sqrt{26}mv_0}{12qR}$

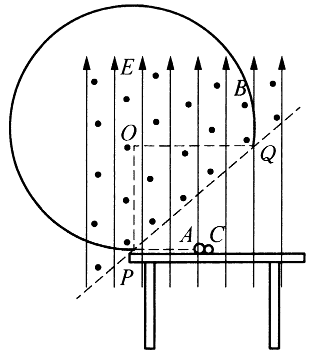
解析　（1）电荷从 P 到 A 做类平抛运动，有：$R + R\cos\theta = v_0t$，$R\sin\theta = \frac{1}{2}\times\frac{qE}{m}t^2$，解得：$E = \frac{2mR\sin\theta}{qt^2} = \frac{10mv_0^2}{27qR}$。

（2）粒子进入磁场时的速度为：$v = \sqrt{\left(\frac{qE}{m}\right)^2 + v_0^2} = \frac{\sqrt{13}}{3}v_0$，由几何关系可得粒子做圆周运动的半径为 $r = \sqrt{2}R$，从 B 点离开匀强磁场时，粒子转过的圆心角为 $\frac{\pi}{2}$，所以电荷在磁场中的运动时间为：$t = \frac{T}{4} = \frac{\pi r}{2v} = \frac{3\sqrt{26}\pi R}{26v_0}$。

（3）粒子从 A 进入磁场时速度沿 AC 方向，刚好能垂直 BC 边离开磁场，由几何关系可得：$r' = 2\sqrt{2}R$，由洛伦兹力提供向心力可知：$qvB = m\frac{v^2}{r}$，得：$B = \frac{\sqrt{26}mv_0}{12qR}$。

点睛　带电粒子的运动问题，加速电场一般由动能定理或匀加速运动规律求解；偏转电场由类平抛运动规律求解；磁场中的运动问题则根据圆周运动规律结合几何条件求解。

14. (1) $\frac{k+1}{2k}mv_0^2$ (2) $\frac{3\pi m}{2qB}$ (3) $\frac{2k-2-3\pi}{2(k+1)}\cdot\frac{mv_0}{qB}$



第 14 题答图

解析 (1) 设爆炸之后 C 的速度大小为 v_C，在爆炸前后由动量守恒定律可得 $0=mv_0-kmv_C$，又由能量守恒定律可得：$E_{总}=\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{1}{2}kmv_C^2=\frac{k+1}{2k}mv_0^2$。

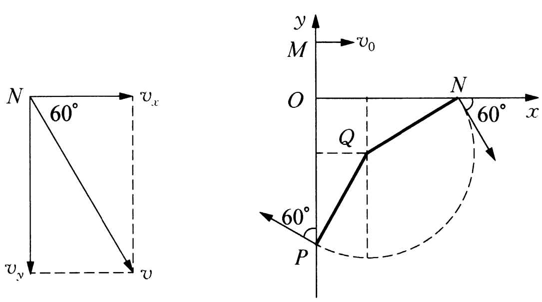
(2) 由"A 球对桌面的压力为零"可知 A 球的重力和电场力等大反向，故 A 球进入磁场中将会做匀速圆周运动，则 $T=\frac{2\pi m}{qB}$，A 球在磁场中运动的轨迹如答图所示，由几何知识可得粒子在磁场中运动了 $\frac{3}{4}$ 个圆周，则 $t_2=\frac{3\pi m}{2qB}$。

(3) 由 $0=mv_0-kmv_C$ 可得 $v_C=\frac{v_0}{k}$，A 球在磁场中做匀速圆周运动的半径 $R=\frac{mv_0}{qB}$，设爆炸前 A 球与桌边 P 的距离为 x_A，爆炸后到相遇前 C 运动的位移为 x_C，运动时间为 t_C，则 $t_C=\frac{x_A}{v_0}+t_2+\frac{R}{v_0}$，$x_C=v_Ct_C$，由图可得 $R=x_A+x_C$，联立解得 $x_A=\frac{2k-2-3\pi}{2(k+1)}\cdot\frac{mv_0}{qB}$。

15. (1) $R=\frac{2mv_0}{qB}$ (2) $E=\frac{(3-\sqrt{3})v_0B}{2}$

解析 (1) 因为粒子在电场中做类平抛运动，设粒子过 N 点时的速度为 v_N，根据平抛运动的速度关系粒子在 N 点进入磁场时的速度 $v_N=\frac{v_x}{\cos 60^\circ}=\frac{v_0}{\cos 60^\circ}=2v_0$ ①，如答图所示，分别过 N、P 点作速度方向的垂线，相交于 Q 点，则 Q 是粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心，根据牛顿第二定律 $qv_NB=m\frac{v_N^2}{R}$，粒子在磁场中运动的轨道半径：$R=\frac{mv_N}{qB}$ ②，联立①②式得粒子的轨道半径：$R=\frac{2mv_0}{qB}$ ③。

(2) 粒子在电场中做类平抛运动，设加速度为 a，运动时间为 t，由牛顿第二定律：$qE=ma$ ④，设沿电场方向的分速度为 $v_y=at$ ⑤，粒子在电场中沿 x 轴方向做匀速运动，由图根据粒子在磁场中的运动轨迹可以得出粒子在 x 轴方向的位移：$x=R\sin 30^\circ+R\cos 30^\circ=v_0t$ ⑥，又：$v_y=v_0\tan 60^\circ$ ⑦，联立③④⑤⑥⑦式可以解得匀强电场的场强大小：$E=\frac{(3-\sqrt{3})v_0B}{2}$。



第 15 题答图

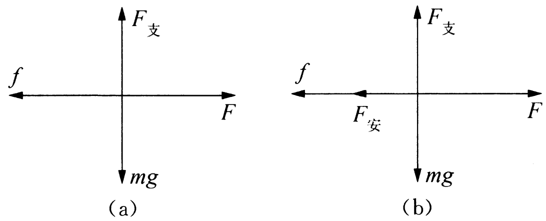
点睛 本题解题关键是掌握平抛运动的处理方法并能运用到类平抛运动中，对于粒子在磁场中的匀速圆周运动，关键是能正确地画出运动轨迹，并根据几何关系确定各量之间的关系。

专题十五　电磁感应与力学综合

1. (1) $E=\frac{Blt_0}{m}(F-\mu mg)$　(2) $R=\frac{B^2l^2t_0}{m}$

解析　(1) 由题意可知 $0\sim t_0$ 时间内受力分析如答图(a)所示。有：$F_{合}=F-f$ ①，$f=\mu mg$ ②，物体做匀加速直线运动 $F_{合}=ma$ ③，物体匀加速进入磁场瞬间的速度为 v，则：$v=at_0$ ④，由法拉第电磁感应定律可知 $E=Blv$ ⑤，联立各式得：$E=\frac{Blt_0}{m}(F-\mu mg)$ ⑥。

(2) 金属杆在磁场中的受力如答图(b)所示。由杆在磁场中匀速直线运动可知：$F-F_{安}-f=0$ ⑦，由安培力可知 $F_{安}=BIl$ ⑧，由欧姆定律可知 $I=\frac{E}{R}$ ⑨，由②⑥⑦⑧⑨式可知：$R=\frac{B^2l^2t_0}{m}$ 。



第 1 题答图

2. BC

解析　设金属棒在某一时刻速度为 v，由题意可知感应电动势：$E=BLv$，回路电流：$I=\frac{E}{R+r}=\frac{BL}{R+r}v$，即 $I\propto v$；安培力：$F_A=BIL=\frac{B^2L^2}{R+r}v$，方向水平向左，即 $F_A\propto v$；R 两端电压：$U_R=IR=\frac{BLR}{R+r}v$，即 $U_R\propto v$；感应电流功率：$P=EI=\frac{B^2L^2}{R+r}v^2$，即 $P\propto v^2$。分析金属棒运动情况，由力的合成和牛顿运动第二定律可得：$F_{合}=F-F_A=F_0+kv-\frac{B^2L^2}{R+r}v=F_0+\left(k-\frac{B^2L^2}{R+r}\right)v$，即加速度 $a=\frac{F_{合}}{m}$。因为金属棒从静止出发，所以 $F_0>0$，且 $F_{合}>0$，即 $a>0$，加速度方向水平向右。

(1) 若 $k=\frac{B^2L^2}{R+r}$，$F_{合}=F_0$，即 $a=\frac{F_0}{m}$，金属棒水平向右做匀加速直线运动。有 $v=at$，说明 $v\propto t$，也即是 $I\propto t$，$F_A\propto t$，$U_R\propto t$，$P\propto t^2$，所以在此情况下没有选项符合；

(2) 若 $k>\frac{B^2L^2}{R+r}$，$F_{合}$ 随 v 增大而增大，即 a 随 v 增大而增大，说明金属棒在做加速度增大的加速运动，速度与时间呈指数增长关系，根据四个物理量与速度的关系可知 B 选项符合；

(3) 若 $k<\frac{B^2L^2}{R+r}$，$F_{合}$ 随 v 增大而减小，即 a 随 v 增大而减小，说明金属棒在做加速度减小的加速运动，直到加速度减小为 0 后金属棒做匀速直线运动，根据四个物理量与速度关系可知 C 选项符合。综上所述，B、C 选项符合题意。

3. (1) 1 A　(2) 8 W　(3) 0.25

解析　(1) 设棒刚进入磁场时，速度为 v_0，由机械能守恒定律有：$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，解得：$v_0=2\ \text{m/s}$，又由法拉第电磁感应定律有：$E=Bdv_0=4\ \text{V}$，由闭合电路欧姆定律有：$I=\frac{E}{R+r}=1\ \text{A}$。

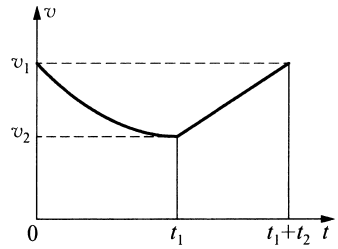
(2) 棒离开磁场后开始做平抛运动，在竖直方向上有：$H=\frac{1}{2}gt^2$，解得：$t=\sqrt{\frac{2H}{g}}=0.4\ \text{s}$，金属杆落地时

功率为 $P = mgv_y = mg \cdot gt = 8\ \text{W}$。

(3) 设棒刚离开磁场时速度为 v，在水平方向上有：$s = vt$，解得 $v = 1\ \text{m/s}$。设桌面的宽度为 L，根据 $q = \frac{\Delta\Phi}{R+r} = \frac{BLd}{R+r}$ 得出：$L = 0.2\ \text{m}$，电阻 R 上产生电热：$Q_R = \frac{R}{R+r}Q$，得出电路中产生的热量为：$Q = 0.2\ \text{J}$，根据动能定理有：$-\mu mgL + W_安 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$，其中：$W_安 = -Q = -0.2\ \text{J}$，解得：$\mu = 0.25$。

点睛 本题考查力学中的平抛运动、动能定理、功率、摩擦力的概念以及电磁感应中法拉第电磁感应定律、磁通量、电量、电热和闭合电路欧姆定律。选取了新颖但不复杂的物理模型，相关知识点属于基本要求，难度不高。考查知识点基础但知识跨度大，涉及机械能守恒定律、平抛运动、功率、法拉第电磁感应定律、闭合电路欧姆定律和动能定理等考点。要学会分析过程，对照条件和问题作相应规律的选择和运用。

4. BC



第 4 题答图

解析 设进入磁场时速度为 v_1，出磁场时速度为 v_2，因为进入磁场Ⅰ和Ⅱ时的速度相等。而在两磁场间：$a_2 = g$，是匀加速运动，所以在磁场中做非匀减速运动，所以刚进入磁场Ⅰ时加速度方向竖直向上，选项 A 错误；因为在磁场中加速度大小为：$a_1 = \frac{B^2L^2v}{R} - g$，随着速度的减小，加速度减小，所以是加速度逐渐减小的减速运动，可以画出 x - t 图象如答图所示，因为在磁场中和两磁场之间的位移相等都为 d（图中面积相等），所以：$t_1 > t_2$，即选项 B 正确；在穿过两个磁场和一个间距的过程中，根据动能定理：$mg \cdot 3d - Q = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$，在间距中：$v_1^2 - v_2^2 = 2gd$，解得：$Q = 4mgd$，选项 C 正确；在磁场中加速度为：$a_1 = \frac{B^2L^2v_1}{mR} - g > 0$（设向上为正），所以：$v_1 > \frac{mgR}{B^2L^2}$，在进入磁场前：$v_1^2 = 2gh$，所以：$h > \frac{m^2gR^2}{2B^4L^4}$，选项 D 错误。

5. (1) M 接电源正极 (2) $a = \frac{2BEl}{mR}$ (3) 若 $\frac{I_总}{I_0} = \frac{mv_0R}{B^2\rho^3}$ 恰好为整数，设其为 n，则需设置 n 块有界磁场，若 $\frac{I_总}{I_0}$ 不是整数，设 $\frac{I_总}{I_0}$ 的整数部分为 N，则需设置 $N+1$ 块有界磁场。

解析 (1) M 接电源正极，列车要向右运动，安培力方向应向右，根据左手定则，接通电源后，金属棒中电流方向由 a 到 b，由 c 到 d，故 M 接电源正极。

(2) 由题意，启动时 ab、cd 并联，设回路总电阻为 $R_总$，由电阻的串并联知识得：$R_总 = \frac{R}{2}$ ①；设回路总电阻为 I，根据闭合电路欧姆定律有：$I = \frac{E}{R_总}$ ②，设两根金属棒所受安培力之和为 F，有 $F = BIl$ ③，根据牛顿第二定律有：$F = ma$ ④，联立①②③④式得：$a = \frac{2BEl}{mR}$ ⑤。

(3) 设列车减速时，cd 进入磁场后经 Δt 时间 ab 恰好进入磁场，此过程中穿过两金属棒与导轨所围回路的磁通量的变化为 $\Delta\Phi$，平均感应电动势为 E_1，由法拉第电磁感应定律得：$E_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ⑥，其中 $\Delta\Phi = Bl^2$ ⑦；设回路中平均电流为 I'，由闭合电路欧姆定律有：$I' = \frac{E_1}{2R}$ ⑧，设 cd 受到的平均安培力为 F'，有：$F' = I'lB$ ⑨，以向右为正方向，设 Δt 时间内 cd 受安培力冲量为 $I_冲$，有：$I_冲 = -F'\Delta t$ ⑩，同理可知，回路出磁场时 ab 受安培力冲量仍为上述值，设回路进出一块有界磁场区域安培力冲量为 I_0，有：$I_0 = 2I_冲$ ⑪；设列车停下来受到的总冲量为 $I_总$，由动量定理得：$I_总 = 0 - mv_0$，联立⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫式得：$\frac{I_总}{I_0} = \frac{mv_0R}{B^2l^3}$。讨论：若 $\frac{I_总}{I_0}$ 恰好为整数，设其为 n，则需设置 n 块有界磁场，若 $\frac{I_总}{I_0}$ 不是整数，设 $\frac{I_总}{I_0}$ 的整数部分为 N，则需设置 $N+1$

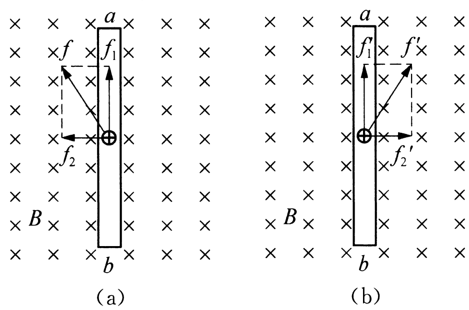
块有界磁场。

6. (1) $\dfrac{B^2L^2\Delta t}{R+r}$　$BILv\cdot\Delta t$　(2) a. 如图　b. 见解析

解析　(1) 图甲中，电路中的电流 $I_1=\dfrac{BLv}{R+r}$，棒 ab 受到的安培力 $F_1=BI_1L$，在 Δt 时间内，“发电机”产生的电能等于棒 ab 克服安培力做的功 $E_{电}=F_1\cdot v\Delta t=\dfrac{B^2L^2v^2\Delta t}{R+r}$，图乙中，棒 ab 受到的安培力 $F_2=BIL$，在 Δt 时间内，“电动机”输出的机械能等于安培力对棒 ab 做的功 $E_{机}=F_2\cdot v\Delta t=BILv\Delta t$。

(2) a. 如答图(a)、答图(b)所示。b. 设自由电荷量为 q，沿导体棒定向移动的速率为 u，如答图(b)所示。沿棒方向的洛伦兹力：$f_1'=qvB$，做了负功：$W_1=-f_1'\cdot u\Delta t=-qvBu\Delta t$，垂直棒方向的洛伦兹力：$f_2'=quB$，做了正功：$W_2=f_2'\cdot v\Delta t=quBv\Delta t$，所示 $W_1=-W_2$，即导体棒中一个自由电荷所受的洛伦兹力做功为零。f_1' 做负功，阻碍自由电荷的定向移动，宏观上表现为“反电动势”，消耗电源的电能；f_2' 做正功，宏观上表现为安培力做正功，使机械能增加。大量自由电荷所受洛伦兹力做功的宏观表现是将电能转化为等量的机械能，在此过程中洛伦兹力通过两个分力做功起到“传递能量”的作用。

点睛　本题突出考查力学与电磁学的主干知识，考查学生应用物理规律解决问题的能力，重视对简单物理知识的本质的理解，计算量不大。近几年北京卷的命题不看重计算能力，一般不会出计算过程繁琐的问题，题目的难度大多体现在“新意”上。



第 6 题答图

7. (1) 磁场的方向垂直于导轨平面向下　(2) $a=\dfrac{BEl}{mR}$　(3) $Q_2=\dfrac{B^2l^2C^2E}{B^2l^2C+m}$

解析　(1) 电容器充电后上板带正电，下板带负电，放电时通过 MN 的电流由 M 到 N，欲使炮弹射出，安培力应沿导轨向右，根据左手定则可知磁场的方向垂直于导轨平面向下。

(2) 电容器完全充电后，两极板间电压为 E，根据欧姆定律，电容器刚放电时的电流：$I=\dfrac{E}{R}$，炮弹受到的安培力：$F=BIl$，根据牛顿第二定律：$F=ma$，解得加速度：$a=\dfrac{BEl}{mR}$。

(3) 电容器放电前所带电量为：$Q_1=CE$，开关 S 接 2 后，MN 开始向右加速，速度达到最大值 v_m 时，MN 上感应电动势为 $E'=BLv_m$，最终电容器所带电量为：$Q_2=CE'$，设此过程中 MN 的平均电流为 $\bar{I}$，MN 上受到的安培力为：$\bar{F}=B\bar{I}l$，由动量定理知：$\bar{F}\cdot\Delta t=mv_m$，又：$\bar{I}\Delta t=Q_1-Q_2$，整理解得最终电容器所带电量为：$Q_2=\dfrac{B^2l^2C^2E}{B^2l^2C+m}$。

点睛　本题考查了电磁感应现象的综合应用。涉及电容器的充放电、动量定理等考点。

8. (1) $\dfrac{2mgR}{B^2L^2}$　(2) 加速度的大小为 g　方向向上　(3) 焦耳热为 $mg\left(4H+\dfrac{5m^4gR^4}{B^4L^4}\right)$

解析　(1) 设金属棒 a 刚好要出区域 I 时速度大小为 v_1，此时回路中的电动势为：$E_1=BLv_1$，根据闭合电

路欧姆定律可得：$I_1=\frac{E_1}{2R}$，由于此时的加速度为零，根据力的平衡有：$mg=BI_1L$，求得：$v_1=\frac{2mgR}{B^2L^2}$。

(2) 金属棒 b 刚进区域Ⅰ时加速度的大小为 v_2，根据机械能守恒定律可得：$mgh_b=\frac{1}{2}mv_2^2$，解得：$v_2=\sqrt{2gh_b}=\frac{2mgR}{B^2L^2}$，金属棒 a 刚进入磁场时，回路中的电动势为：$E_2=BL(v_1+v_2)=\frac{4mgR}{BL}$，回路中的电流为：$I_2=\frac{E_2}{2R}=\frac{2mg}{BL}$，由于金属棒 b 刚进入磁场时受到的安培力与重力的关系为：$BI_2L>mg$，因此加速度方向向上，大小为：$a=\frac{BI_2L-mg}{m}=g$。

(3) 金属棒 b 进入磁场的一瞬间，速度与 a 的速度相同，加速度也相同，此后两棒一起做相同的变加速度的减速运动，设金属棒 b 刚好要出区域Ⅰ时的速度大小为 v_3，此时回路中的电动势为：$E_3=2BLv_3$，回路中的电流为：$I_3=\frac{E_3}{2R}=\frac{BLv_3}{R}$，根据平衡条件有：$mg=BI_3L$，解得：$v_3=\frac{mgR}{B^2L^2}$，金属棒 b 做自由落体运动的时间为：$t=\frac{v_2}{g}=\frac{2mg}{B^2L^2}$，这段时间内金属棒 a 下落的高度：$h_a=v_1t=\frac{4m^2gR^2}{B^4L^4}$。设从金属棒 a 释放到金属棒 b 刚好要出区域 Ⅰ 的过程中，回路中产生的焦耳热为 Q，根据能量守恒定律可得：$mg(h+2H+h_a)+mg\left(H+\frac{2m^2gR^2}{B^4L^4}\right)=Q+\frac{1}{2}\times 2mv_3^2$，求得：$Q=mg\left(h+3H+\frac{5m^2gR^2}{B^4L^4}\right)$。

点睛 电磁感应问题研究思路常常有两条：一条从力的角度，根据牛顿第二定律或平衡条件列出方程；另一条是能量关系，分析涉及电磁感应现象中的能量转化问题，根据动能定理、功能关系等列方程求解。

9. (1) $F_1=\frac{mg}{4}$，$F_2=\frac{mg}{4}+\frac{B^2L^2V_0}{2R}$ (2) $W=\frac{1}{4}mg[(n+2)a+(n-1)b]+\frac{nB^2L^2v_0a}{2R}$

(3) $Q_R=\frac{1}{2}Q=\frac{1}{2}n\left(F-\frac{1}{4}mg\right)(a+b)$，$v_2=\sqrt{2\left(\frac{F}{m}-\frac{1}{4}g\right)(2a-b)}$ 方向沿斜面向下，$T=\frac{2B^2L^2a}{(4F-mg)R}$

解析 (1) 当金属棒匀速运动时，进入磁场前有：$F_1+mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$，进入磁场后有：$F_2+mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta+BIL$，而 $I=\frac{BLv_0}{2R}$，解得：$F_1=\frac{mg}{4}$，$F_2=\frac{mg}{4}+\frac{B^2L^2v_0}{2R}$。

(2) 金属棒在磁场外的运动过程中：$W_1=F_1[2a+(n-1)b]$，穿过 n 段磁场过程中，$W_1=nF_2a$，所以拉力做功为：$W=W_1+W_2=F_1[2a+(n-1)b]+nF_2a=\frac{1}{4}mg[(n+2)a+(n-1)b]+\frac{nB^2L^2v_0a}{2R}$。

(3) 由分析可知金属棒进入各段磁场时速度都应相同，且等于从 OO' 运动 $2a$ 距离第一次进入磁场时的速度，设为 v_1，由动能定理得：$(F+mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\cdot 2a=\frac{1}{2}mv_1^2$，要保证每次进入磁场时速度均为 v_1，棒在磁场中须做减速运动，离开磁场后再加速。每一段磁场中克服安培力做的功均相同，都为 W，棒离开磁场时速度也都相同，设为 v_2。由动能定理得：$(F+mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\cdot a-W=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，在两个磁场间运动时，有：$(F+mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)\cdot b=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2$，由此可得：$W=(F+mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta)(a+b)=\left(F-\frac{1}{4}mg\right)(a+b)$，而电路中产生的总热量为：$Q=nW$，电阻 R 上产生的热量为：$Q_R=\frac{1}{2}Q=\frac{1}{2}n\left(F-\frac{1}{4}mg\right)(a+b)$，出磁场时速度为：$v_2=\sqrt{\frac{2\left(F-\frac{1}{4}mg\right)\cdot(2a-b)}{m}}=\sqrt{2\left(\frac{F}{m}-\frac{1}{4}g\right)(2a-b)}$，方向沿斜面向下。设电压变化周期为 T，在磁场中运动时间为 t，则从进入第一个磁场到进入第二个磁场过程

中对导体棒由动量定理：$mv_1 - mv_1 = (F + mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta)T - B\bar{I}Lt$，又因为：$q = \bar{I}t = \dfrac{\bar{E}}{2R}t = \dfrac{BaL}{2R}$，

解得 $T = \dfrac{B^2L^2a}{2\left(F - \dfrac{1}{4}mg\right)R} = \dfrac{2B^2L^2a}{(4F - mg)R}$。

10. (1) $\dfrac{5mgR\sin\theta}{2B^2d^2a}$ (2) $\dfrac{m^2g^2R\sin^2\theta}{2B^2d^2}$ (3) $F = m(g\sin\theta + a) + \dfrac{3B^2d^2a}{5R}t$

解析 (1) 以导体甲为研究对象，设经 t_1 时间导体棒甲与挡板之间的作用力为零，由力的平衡条件可知：$BI_{甲}d = mg\sin\theta$，此时导体棒乙的感应电动势为：$E = Bdv = Bdat_1$，$I = \dfrac{E}{R + R_{并}}$，$R_{并} = \dfrac{2}{3}R$，$I_{甲} = \dfrac{2}{3}I$，由以上各式可解得：$t_1 = \dfrac{5mgR\sin\theta}{2B^2d^2a}$。

(2) 设导体棒乙两端的电压为 $U_乙$，则：$U_乙 = E - IR$，解得 $U_乙 = \dfrac{mgR\sin\theta}{Bd}$，则此时定值电阻消耗的电功率为：$P = \dfrac{U_乙^2}{2R}$，解得：$P = \dfrac{m^2g^2R\sin^2\theta}{2B^2d^2}$。

(3) 对导体棒乙由牛顿第二定律可知：$F - BI'd - mg\sin\theta = ma$，$I' = \dfrac{Bdv'}{R + R_{并}}$，$v' = at$，解得 $F = m(g\sin\theta + a) + \dfrac{3B^2d^2a}{5R}t$。

11. (1) 0.2 m/s (2) 0.25 m/s² (3) 0.4 m/s² 0.0784 W

解析 (1) 设 a 棒开始滑动时电流强度为 I，b 棒的速度为 v，对 a 棒由力的平衡有：$\mu mg = B_1IL$ ①，由法拉第电磁感应定律和欧姆定律可得：$I = \dfrac{B_2Lv}{2R}$ ②，联立①②式解得：$v = 0.2\ \text{m/s}$ ③。

(2) 设 a 棒的加速度为 a_1'，b 棒的加速度为 a_2'。由牛顿第二定律知：$B_1IL - \mu mg = ma_1$ ④，$F - B_2IL - \mu mg = ma_2$ ⑤，联立④⑤式得：$a_1 = 0.25\ \text{m/s}^2$ ⑥。

(3) 设 a 棒开始做匀加速运动加速度为 a_1'，b 棒开始做匀加速运动加速度为 a_2'，由牛顿第二定律知：$B_1IL - \mu mg = ma_1'$ ⑦，$F - B_2IL - \mu mg = ma_2'$ ⑧，由法拉第电磁感应定律和欧姆定律知：$I = \dfrac{B_2Lv_2 - B_1Lv_1}{2R}$ ⑨，由于电流不变，则 $(B_2Lv_2 - B_1Lv_1)$ 为常量 ⑩，所以两棒加速度满足以下关系：$2a_2' = a_1'$ ⑪，联立⑦⑧⑪式解得：$I = 0.28\ \text{A}$ ⑫，将⑫式代入⑧式得：$a_1' = 0.4\ \text{m/s}^2$ ⑬，由焦耳定律知：$P = I^2R$ ⑭，代入数据得：$P = 0.0784\ \text{W}$ ⑮。

12. BC

解析 开关拨向"1"时，在极短时间 Δt 内流过金属棒的电荷量为 ΔQ，则电路中的瞬时电流为：$I = \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$，电容器的电压：$U = BLv$，电荷量：$Q = CU$，则：$\Delta Q = C\Delta U = CBL\Delta v$，可得：$I = CBL\dfrac{\Delta v}{\Delta t} = CBLa$，对金属棒由牛顿第二定律得：$F - BIL = ma$，联立得金属棒的瞬时加速度为 $a = \dfrac{F}{m + CB^2L^2}$，则知金属棒的加速度不变，做匀加速直线运动，选项 A 错误。

t_0 时刻电容器所带的电压 $U = BLat_0$，电荷量：$Q = CU$，则得：$Q = \dfrac{CBLFt_0}{m + B^2L^2C}$，B 正确。

开关拨向"2"后，导体棒匀速运动时，有 $F = \dfrac{B^2L^2v}{R}$，则得 $v = \dfrac{FR}{B^2L^2}$，选项 C 正确。

开关拨向"2"后 t 时间内，根据牛顿第二定律得：$F - \dfrac{B^2L^2v}{R} = ma = m\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$，则得：$F\Delta t - \dfrac{B^2L^2v}{R}\Delta t = m\Delta v$，两边求和得：$\sum\left(F\Delta t - \dfrac{B^2L^2v}{R}\cdot\Delta t\right) = \sum m\Delta v$，而 $\sum v\Delta t = x$，$\sum\Delta v = v - at_0$，联立解得位移：$x =$

$\dfrac{FR}{B^2L^2}\left(t+\dfrac{mt_0}{m+B^2L^2C}-\dfrac{mR}{B^2L^2}\right)$,选项 D 错误。故选 BC。

点睛 解决本题的关键有两个:一是抓住电流的定义式 $I=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$,结合牛顿第二定律分析金属棒的加速度;二是运用微元法和动量定理求解金属棒的位移,其切入口是加速度的定义式 $a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$。

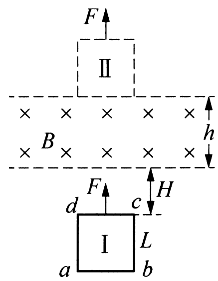
13. (1) $F_T=\dfrac{B^2L^2(v-v_m)}{2R}$ 方向:水平向左 (2) $E_p=\dfrac{1}{2}m_av_0^2-\dfrac{1}{2}m_av^2-\dfrac{1}{2}m_bv_m^2-2Q$

解析 (1) 设某时刻 a、b 杆速度分别为 v 和 v_m,经过很短的时间 Δt,a 杆移动距离为 $v\Delta t$,b 杆移动距离为 $v_m\Delta t$,回路面积改变量:$\Delta S=L(v-v_m)\Delta t$,由法拉第电磁感应定律,回路中的感应电动势:$E=\dfrac{B\Delta S}{\Delta t}$[或直接写为 $E=BL(v-v_m)$],回路中的电流:$I=\dfrac{E}{2R}$,b 杆受到的安培力:$F_b=BIL$。当 b 杆的速度达到最大值 v_m 时,b 杆的加速度为0,设此时 b 杆受到的弹簧弹力为 F_T,由牛顿第二定律得:$F_T=F_b$,联立以上各式解得:$F_T=\dfrac{B^2L^2(v-v_m)}{2R}$,方向:水平向左。

(2) 以 a、b 杆和弹簧为研究对象,设弹簧弹性势能为 E_p,由能量转化与守恒定律得:$\dfrac{1}{2}m_av_0^2=\dfrac{1}{2}m_av^2+\dfrac{1}{2}m_bv_m^2+2Q+E_p$,故:$E_p=\dfrac{1}{2}m_av_0^2-\dfrac{1}{2}m_av^2-\dfrac{1}{2}m_bv_m^2-2Q$。

14. (1) 9.6 m (2) 42.4 J 3.0 J

解析 (1) 由于线框 cd 边刚进入磁场时,线框恰好开始做匀速运动,故此时线框所受合力为零,分析可知:$F-mg-F_A=0$,设此时线框的运动速度为 v,安培力:$F_A=BIL$,感应电流:$I=\dfrac{E}{R}$,感应电动势:$E=BLv$,联立以上各式解得线框匀速穿过磁场时的速度:$v=\dfrac{(F-mg)R}{B^2L^2}$,代入数据,解得:$v=24$ m/s。根据动能定理,线框从 Ⅰ 位置到 cd 边刚进入磁场的过程中,有:$F\cdot H-mg\cdot H=\dfrac{1}{2}mv^2$,代入数据解得:$H=9.6$ m。



第 14 题答图

(2) 恒力 F 做的功:$W=F\cdot(H+h+L)$,代入数据,解得:$W=42.4$ J。从 cd 边进入磁场到 ab 边离开磁场的过程中,拉力 F 所做的功等于线框增加的重力势能和产生的热量 Q,即:$F\cdot(h+L)=mg\cdot(h+L)+Q$,代入数据解得:$Q=3.0$ J。

专题十六 力学实验

1. (1) $\sqrt{\dfrac{2(L-L_1)}{g}}$ (2) 0.20 (3) 多次测量取平均值,或初始时乙的手指尽可能接近尺子等

解析 根据题述,在乙的反应时间 t 内,尺子下落高度 $h=L-L_1$,根据自由落体运动规律,$h=\dfrac{1}{2}gt^2$,解得:$t=\sqrt{\dfrac{2(L-L_1)}{g}}$。代入数据得:$t=0.20$ s。

点睛 测量反应时间是教材上的小实验,本题由教材小实验切入,主要考查自由落体运动及其相关的知识点,意在考查考生灵活运用教材知识解决实际问题的能力。难度不大。

2. (1) 大于 (2) D

解析 (1) 根据弹性碰撞公式可知,只有入射球的质量大于被碰球的质量,弹性碰撞后才不会反弹,所以选大于。

(2) 小球离开斜槽后做平抛运动,设其水平位移为 L,则小球做平抛运动的时间:$t=\dfrac{L}{v}$,小球的竖直位

移：$y=\frac{1}{2}gt^2$，解得水平速度：$v=L\sqrt{\frac{g}{2y}}$，两个小球碰撞前后瞬间的速度v与$\sqrt{\frac{1}{y}}$成正比，如果碰撞是弹性正碰，系统动量守恒、动能守恒，有：$m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$，$\frac{1}{2}m_1v_0^2=\frac{1}{2}m_1v_1^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$，联立两式可得：$v_0+v_1=v_2$，若测得$O$点到$A$、$B$、$C$三点的距离$y_1$、$y_2$、$y_3$，即有：$\sqrt{\frac{1}{y_2}}+\sqrt{\frac{1}{y_3}}=\sqrt{\frac{1}{y_1}}$，无需测量$A$球和$B$球的质量$m_1$、$m_2$即可判断是否为弹性碰撞。所以选D。

3. (1) ABC (2) 不需要 (3) 乙

解析 (1) 步骤1中，若橡皮筋的伸长量与所挂钩码数成正比说明符合胡克定律，则步骤1的目的是判断橡皮筋的形变是否符合胡克定律，选项A正确；任取两细绳套对拉，因橡皮筋受的拉力相等，若对应橡皮筋长度相等，则形变量相同，则劲度系数相同，则步骤2的目的是判断三段橡皮筋劲度系数是否相同，选项B正确；步骤3还需要记录橡皮筋2、3的方向，选项C正确；因橡皮筋的拉力与形变量成正比，则步骤3不需要用测力计测量三段橡皮筋的拉力大小，选项D错误。选ABC。

(2) 该小组的三名同学分别做此实验，则他们在改变细绳的夹角再做实验时，因两次实验间无任何关系，则不需要保证结点O位置不变。

(3) 用橡皮筋的长度减去原长即为伸长量，此伸长量与力成正比，可用伸长量等效代替力来操作。甲同学中三个力分别对应为5、5、5，三力能平衡；乙同学中三个力对应为5、12、2，此三力不可能平衡；丙同学中三个力对应为6、3、4，此三力可能平衡。故乙记录的数据明显存在错误。

4. (1) $\frac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$ (2) 0.35

解析 (1) 由$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$，解得：$\mu=\frac{g\sin\theta-a}{g\cos\theta}$。

(2) 由逐差法$a=\frac{s_{\text{II}}-s_{\text{I}}}{9T^2}$，其中：$s_{\text{II}}=(76.39-31.83)\times10^{-2}$ m，$s_I=(31.83-5.00)\times10^{-2}$ m，$T=0.15$ s，故$a=1.97\ \text{m/s}^2$，代入①式，得：$\mu=0.35$。

5. (1) BD (2) a. 球心 需要 b. 大于 $v_0=x\sqrt{\frac{g}{y_2-y_1}}$ (3) B

(4) B (5) 利用平抛运动的轨迹的抛物线和圆周运动知识证明即可，见解析

解析 (1) 本实验中要保证小球飞出斜槽末端时的速度为水平，即小球做平抛运动，且每次飞出时的速度应相同，所以只要每次将小球从斜槽上同一位置由静止释放即可，故BD正确。

(2) a. 平抛运动的起始点应为钢球静置于Q点时，钢球的球心对应纸上的位置，由于平抛运动在竖直方向做自由落体运动，所以在确定y轴时需要y轴与重锤线平行；b. 由初速度为零的匀加速直线运动规律即在相等时间间隔内所通过的位移之比为1∶3∶5∶7∶…可知，由于A点不是抛出点，所以$\frac{y_1}{y_2}>\frac{1}{3}$；设$A$、$B$，$B$、$C$间所用的时间为$T$，竖直方向有：$y_2-y_1=gT^2$，水平方向有：$x=v_0T$，联立解得：$v_0=x\sqrt{\frac{g}{y_2-y_1}}$。

(3) A项：从细管水平喷出稳定的细水柱，由于细水柱射出后受到空气阻力的作用，所以此方案不可行；B项：用频闪照相在同一底片上记录小球不同时刻的位置，即平抛运动的轨迹上的点，将点平滑连接在一起即为平抛运动轨迹，所以此方案可行；C项：将铅笔垂直于竖直的白板放置，以一定初速度水平抛出，笔尖与白纸间有摩擦阻力的作用，所以铅笔做的不是平抛运动，故此方案不可行。选B。

(4) 由平抛运动竖直方向运动可知，$h=\frac{1}{2}gt^2$，时间$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，所以只要高度相同，时间相同，故B正确。

(5) 由平抛运动可知，竖直方向：$h=\frac{1}{2}gt^2$，水平方向：$x=v_0t$，联立解得：$y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$，物体速度较小时，地球引力可视为恒力，g不变，故抛出物体的轨迹为抛物线，当抛出的速度越大，物体的水平位移越大，引力

不再是恒力，但引力方向指向圆心，若在抛物线上某点的速度足以提供该点做圆周运动的向心力时，物体的轨迹从抛物线变为圆。

6. (1) 从右向左　(2) 0.19　0.039(水滴间隔时间按$\frac{30}{46}$算)或 0.038(水滴间隔时间按$\frac{30}{45}$算)

解析　(1) 滴水计时器类似于打点计时器，从图可以判断从右向左，单位时间内小车的位移越来越小。由于小车在水平桌面受阻力而做减速运动，故小车应从右向左运动。

(2) 由题意得 $T=\frac{30}{45}=\frac{2}{3}$ s，$v_A=\frac{0.117+0.133}{2\times\frac{2}{3}}=0.1875\approx0.19$ m/s，$a=\frac{(0.150+0.133)-(0.083+0.100)}{6\times\left(\frac{2}{3}\right)^2}=0.0375\approx0.038\ \text{m/s}^2$。

7. (1) AB　(2) BC

解析　(1) 重物选用质量和密度较大的金属锤，减小空气阻力，以减小误差，故 A 正确；两限位孔在同一竖直面，内上下对正，减小纸带和打点计时器之间的阻力，以减小误差，故 B 正确；验证机械能守恒定律的原理是：$mgh=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2$，重物质量可以消掉，无需精确测量出重物的质量，故C错误；用手拉稳纸带，而不是托住重物，接通电源后，撒手释放纸带，故 D 错误。选 AB。

(2) 由 EG 的长度可求出打 F 点的速度 v_2，打 O 点的速度 $v_1=0$，但求不出 OF 之间的距离 h，故 A 错误；由 BC 和 CD 的长度可求出打 C 点的速度 v_2，打 O 点的速度 $v_1=0$，有 OC 之间的距离 h，可以来验证机械能守恒定律，故 B 正确；由 BD 和 EG 的长度可分别求出打 C 点的速度 v_1 和打 F 点的速度 v_2，有 CF 之间的距离 h，可以来验证机械能守恒定律，故 C 正确；由 AC、BD 和 EG 的长度可分别求出打 B、C、F 三点的速度，但 B、C，C、F，B、F 之间的距离都无法求出，无法验证机械能守恒定律，故 D 错误。选 BC。

8. (1) 偶然　(2) B　(3) 在重锤 1 上粘上橡皮泥，调整橡皮泥质量直至轻轻拉动重锤 1 能观察到其匀速下落　(4) $\frac{2(2M+m+m_0)H}{mt^2}$

解析　(1) 多次测量取平均值可以减小偶然误差。

(2) 对重锤 1 受力分析：$(M+m)g-F_T=(M+m)a$ ①，对重锤 2 受力分析：$F_T-Mg=Ma$ ②，联立①②式可得 $a=\frac{mg}{2M+m}=\frac{1}{\frac{2M}{m}+1}g$。当 $m\ll M$ 时，$a\ll g$，由 $H=\frac{1}{2}at^2$ 得 $t=\sqrt{\frac{2H}{a}}$，当 a 很小时，t 就较大，便于测量时间 t 并减小误差，故选 B。

(3) 在重锤 1 上粘上橡皮泥，调整橡皮泥的质量，直至重锤能做匀速直线运动。

(4) 对重锤 1：$(M+m+m_0)g-F_{T1}=(M+m+m_0)a$ ①，对重锤 2：$F_{T2}-Mg=Ma$ ②，$F_{T1}=F_{T2}+m_0g$③，$H=\frac{1}{2}at^2$ ④，联立①②③④式得：$g=\frac{2(2M+m+m_0)H}{mt^2}$。

9. (1) =　(2) 8.475　(3) $\left(\frac{d}{t_2}\right)^2-\left(\frac{d}{t_1}\right)^2$

解析　(1) 如果遮光条通过光电门的时间相等，说明遮光条做匀速运动，即说明气垫导轨已经水平。

(2) 螺旋测微器的固定刻度读数为 8 mm，可动刻度读数为 0.01×47.5 mm=0.475 mm，所以最终读数为：8 mm+0.475 mm=8.475 mm。

(3) 由于光电门的宽度很小，所以我们用很短时间内的平均速度代替瞬时速度，则 $v_A=\frac{d}{t_1}$，$v_B=\frac{d}{t_2}$，滑块和砝码组成的系统动能的增加量：$\Delta E_k=\frac{1}{2}(M+m)(v_B^2-v_A^2)$，系统的重力势能的减小量：$\Delta E_p=mgL$，如果系统动能的增加量等于系统重力势能的减小量，则系统机械能守恒，即：$mgL=\frac{1}{2}(M+m)(v_B^2-v_A^2)$，

化简得：$\frac{2mgL}{(m+M)}=\left(\frac{d}{t_2}\right)^2-\left(\frac{d}{t_1}\right)^2$。

点睛 解决本题的关键是掌握螺旋测微器的读数方法，了解光电门测量瞬时速度的原理。实验中我们要清楚研究对象和研究过程，对于系统要考虑全面。

(1) 如果遮光条通过光电门的时间相等，说明遮光条做匀速运动，即说明气垫导轨已经水平。

(2) 螺旋测微器的读数方法是固定刻度读数加上可动刻度读数，在读可动刻度读数时需估读。

(3) 要验证滑块和砝码组成的系统机械能是否守恒，就应该去求出系统动能的增加量和重力势能的减小量，列出守恒关系式。

10. (1) $>$ (2) M N (3) $m_1\sqrt{s_P}=m_1\sqrt{s_M}+m_2\sqrt{s_N}$ (4) m_1s_P $m_1s_M+m_2s_N$

解析 (1) 为了防止入射球碰后反弹，一定要保证入射球的质量大于被碰球的质量。

(2) 小球 m_1 和小球 m_2 相撞后，小球 m_2 的速度增大，小球 m_1 的速度减小，都做平抛运动，所以碰撞后 m_1 球的落地点是 M 点，m_2 球的落地点是 N 点。

(3) 碰撞前，小球 m_1 落在图中的 P 点，设其水平初速度为 v_1，小球 m_1 和 m_2 发生碰撞后，m_1 的落点在图中的 M 点，设其水平初速度为 v_1'，m_2 的落点是图中的 N 点，设其水平初速度为 v_2，设斜面 BC 与水平面的倾角为 α，由平抛运动规律得：$s_M\sin\alpha=\frac{1}{2}gt^2$，$s_M\cos\alpha=v_1't$，解得：$v_1'=\sqrt{\frac{gs_M(\cos\alpha)^2}{2\sin\alpha}}$，同理可解得：$v_1=\sqrt{\frac{gs_P(\cos\alpha)^2}{2\sin\alpha}}$，$v_2=\sqrt{\frac{gs_N(\cos\alpha)^2}{2\sin\alpha}}$。所以只要满足：$m_1v_1=m_2v_2+m_1v_1'$，即：$m_1\sqrt{s_P}=m_1\sqrt{s_M}+m_2\sqrt{s_N}$，则说明两球碰撞过程中动量守恒；如果满足小球的碰撞为弹性碰撞，则应满足：$\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2}m_1v_1'^2+\frac{1}{2}m_2v_2^2$，代入以上速度表达式可知，应满足公式：$m_1s_P=m_1s_M+m_2s_N$，故需验证 m_1s_P 和 $m_1s_M+m_2s_N$ 相等即可。

11. (1) F_1 0.05 (2) -0.955 (3) C

解析 (1) 因绳子只能提供拉力，故 A 传感器对应的是表中力 F_1，对节点 O 受力分析有：$F_1\sin 30°=mg$，解得：$m=0.05$ kg。

(2) O 点受到 F_1、F_2 和钩码向下的拉力，对于 O 点受力平衡，根据几何关系可知：$F_2=F_1\cos 30°=1.103\times\frac{\sqrt{3}}{2}=0.955$ N，因为 B 受到的是压力，所以 F_2 空缺处数据应为 -0.955 N。

(3) 实验中，让 A 传感器沿圆心为 O 的圆弧形轨道移动的主要目的是保持轻杆右端 O 的位置不变，从而保证 OB 水平，故选 C。

12. (1) BD (2) 0.788 0.401 (3) 偏大

解析 (1) 研究小车的匀变速直线运动实验中，小车的质量与钩码的质量大小关系及小车与长木板间是否有摩擦力，对于实验没有影响；但细线必须与长木板平行，且先接通电源再释放小车，故选项 BD 正确、AC 错误。

(2) 每两个计数点间有四个点没有画出，故两计数点间的时间间隔为 $T=5\times0.02=0.1$ s；根据逐差法可知，物体的加速度为：$a=\frac{(s_3+s_4)-(s_2+s_1)}{4T^2}=\frac{(5.97+5.19)\times10^{-2}-(4.42+3.59)\times10^{-2}}{4\times(0.1)^2}$ m/s^2 $=0.788$ m/s^2。B 点的瞬时速度等于 A、C 间的平均速度：$v_B=\frac{x_{AC}}{2T}=\frac{(3.59+4.42)\times10^{-2}}{2\times0.1}$ m/s $=0.401$ m/s。

(3) 如果在某次实验中，交变电流的频率为 $f=49$ Hz，$f<50$ Hz，那么实际打点周期变大，根据运动学公式 $\Delta x=aT^2$ 得到测量的加速度值与真实的加速度值相比是偏大的。

13. (1) BC (2) 2.00 (3) C (4) 没有平衡摩擦力或平衡摩擦力不够

解析 （1）本题拉力可以由弹簧测力计测出，而不是用砂和砂桶的重力来替代，故不需要用天平测出砂和砂桶的质量，选项A错误；也不需要使小桶（包括砂）的质量远小于车的总质量，选项D错误；该题是弹簧测力计测出拉力，从而表示小车受到的合外力，故需要将带滑轮的长木板右端垫高，以平衡摩擦力，选项B正确；使用打点计时器时，都是先接通电源，待打点稳定后再释放纸带，该实验探究加速度与力和质量的关系，要记录弹簧测力计的示数，故C正确。故选BC。

（2）由于两计数点间还有四个点没有画出，故相邻计数点的时间间隔为0.1 s，由 $\Delta x=aT^2$，可得：$a=\frac{x_4-x_1+x_5-x_2+x_6-x_3}{9T^2}=\frac{7.10-1.10+9.13-3.09+11.09-5.12}{9\times 0.1^2}$ $\mathrm{m/s^2}=2.00\ \mathrm{m/s^2}$。

（3）由牛顿第二定律得：$2F=Ma$，则：$a=\frac{2}{M}\cdot F$，a-F 图象的斜率：$k=\frac{2}{M}$，所以小车质量为：$M=\frac{2}{k}$，故选C。

（4）若长木板是水平的，则车的加速度为：$a=\frac{F-\mu Mg}{M}=\frac{1}{M}\cdot F-\mu g$，$a$-$F$ 图象将不过原点，由此可知乙同学可能没有平衡摩擦力或平衡摩擦力不够。

点睛 解决实验问题首先要掌握该实验原理，了解实验的操作步骤和数据处理以及注意事项，小车质量不变时，加速度与拉力成正比，对 a-F 图来说，图象的斜率表示小车质量的倒数的2倍。小车加速度应依据逐差法计算。

14. （1）逐渐增大 （2）$\frac{l_1}{l_2}m_0$

解析 （1）若在 C 点两侧细绳拉力方向相反，P 处悬挂小物块质量为零；若在圆弧上某点时 AP 与 BP 的夹角为120°，则 P 处悬挂待测小物块质量等于小物块质量 m_0；若在圆弧上 D 点，P 处悬挂待测小物体要远大于小物块质量 m_0，所以在圆弧 CD 上从 C 点至 D 点标出的质量值应逐渐增大。

（2）作出 P 点的受力分析图，应用平行四边形定则可得力矢量三角形。该力矢量三角形和图中 $\triangle APP'$ 相似，根据相似三角形知识可得：$\frac{mg}{l_1}=\frac{m_0g}{l_2}$，解得：$m=\frac{l_1}{l_2}m_0$。

15. （1）0.520 （2）$\frac{d}{t}$ （3）小于 （4）$\frac{5d^2}{kL}$

解析 （1）根据游标卡尺读数规则，挡光片宽度 $d=0.50\ \mathrm{cm}+4\times 0.05\ \mathrm{mm}=0.520\ \mathrm{cm}$；

（2）滑块通过光电门的速度为 $\frac{d}{t}$。

（3）细线另一端挂有6个钩码，由静止释放后，由牛顿第二定律：$6mg=(M+6m)a$，$F_1=Ma$，联立解得细线上的拉力：$F_1=2.4mg$；当只剩3个钩码时，由静止释放后，由牛顿第二定律：$3mg=(M+6m)a$，$F_2=(M+3m)a$，联立解得细线上的拉力为：$F_2=2.1mg$，所以 F_1 小于 $2F_2$。

（4）当细绳端挂有 n 个钩码，由静止释放后，由牛顿第二定律：$nmg=(M+6m)a$，$v=\frac{d}{t}$，$v^2=2aL$，联立解得：$n=\frac{5d^2}{Lg}\frac{1}{t^2}$。图线斜率 $k=\frac{5d^2}{Lg}$，则当地重力加速度为 $g=\frac{5d^2}{kL}$。

专题十七　电学实验

1. C

解析 对A、B选项：将接线柱1、2接入电路时电阻 R_1 分流，阻值为电流表内阻的一半，通过 R_1 的电流为通过电流表电流的2倍，量程扩大为原来的3倍，所以每一小格表示0.06 A，故A、B项错误。对C、D选项：将接线柱1、3接入电路时，电流表先与 R_1 并联，然后与 R_2 串联，串联电路对电流表量程无影响，电阻 R_1 分流，电流表量程仍变为原来的3倍，每一小格表示0.06 A，故C项正确、D项错误。正确答案为C。

2. D

解析 A方案中根据闭合回路欧姆定律可得：$E=U+Ir$，可测量多组U、I数据列式求解，A可行；B方案中根据欧姆定律可得：$E=\dfrac{U}{R}(r+R)$，测量多组U、R数据可求解，B可行；C方案中根据欧姆定律可得$E=I(R+r)$，测量多组I、R数据可列式求解，C可行；D方案中两个安培表和一个滑动变阻器，由于不知道滑动变阻器电阻，故无法测量E、r，选项D不可行。选D。

3. (1) aa'　bb'　(2) 1.41(1.36～1.44均可)　0.5(0.4～0.6均可)

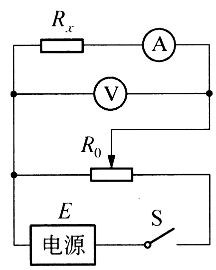
解析 (1) 用电压挡检测电路故障，电压表的表头是电流表，原电路有断路，回路中无电流，将电压表接在ab'间后有示数，说明电路被接通，即ab'间有电路故障；再测量aa'间电压，电压表示数不为零，说明断路故障的范围被缩小到aa'间；若示数为零，则说明电路仍未接通，断路故障被确定在bb'之间。

(2) 根据闭合电路欧姆定律：$E=I_1(R_1+r_1)+(I_1+I_2)(R_0+r)$，$I_1\ll I_2$，上式可简化为：$E=I_1(R_1+r_1)+I_2(R_0+r)$，读出两点坐标：(60, 0.12)和(260, 0.05)，代入方程解得电动势：$E=1.41$ V，内阻：$r=0.5\ \Omega$。

4. (1) B　C　F　(2) 如答图所示

解析 (1) 由于待测电阻约为10 kΩ，阻值太大，电源电动势为12 V时，电路中电流才大约1.2 mA，故电流表选C，电源选F。由于待测电阻约为10 kΩ，电路中电流约为1.2 mA，则待测电阻两端电压最大约为12 V，所以电压表选B。

(2) 由于待测电阻阻值远大于所选电流表内阻，而略小于电压表内阻，故实验测量电路设计时用内接法；而滑动变阻器最大阻值远小于待测电阻的阻值，故控制电路中滑动变阻器使用限流式接法根本起不到调节作用，滑动变阻器只能采用分压式接法。电路图如答图所示。

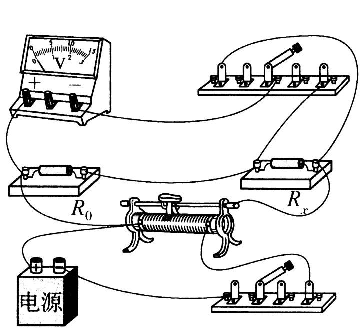


第4题答图

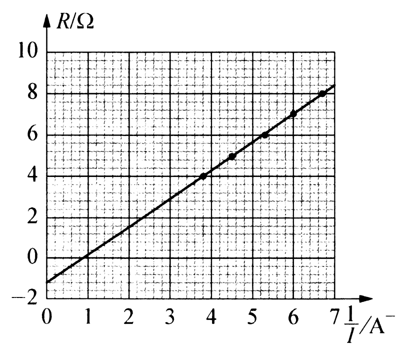
5. (1) 见解析　(4) $\left(\dfrac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$　(6) 48.2

解析 (1) 实物连线如答图所示；

(2) 将开关S_2掷于1端，由欧姆定律可得通过的电流：$I=\dfrac{U_1}{R_0}$，将开关S_2掷于2端，R_0和R_x串联，总电压为U_2，R_x两端电压为U_2-U_1，待测电阻：$R_x=\dfrac{U}{I}=\dfrac{U_2-U_1}{U_1}R_0=\left(\dfrac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$。五次测量所得$\dfrac{U_2}{U_1}$的平均值为$\dfrac{1}{5}(3.44+3.43+3.39+3.40+3.39)=3.41$，代入$R_x=\left(\dfrac{U_2}{U_1}-1\right)R_0$，得：$R_x=48.2\ \Omega$。



第5题答图



第6题答图

6. (1) ① 开关未断开　② 电阻箱阻值为零

(2) (见解析图)　1.4(1.30～1.44都算对)　1.2(1.0～1.4都算对)

(3) 1.4(结果与(2)问第一个空格一致)　1.0(结果比(2)问第二个空格小0.2)

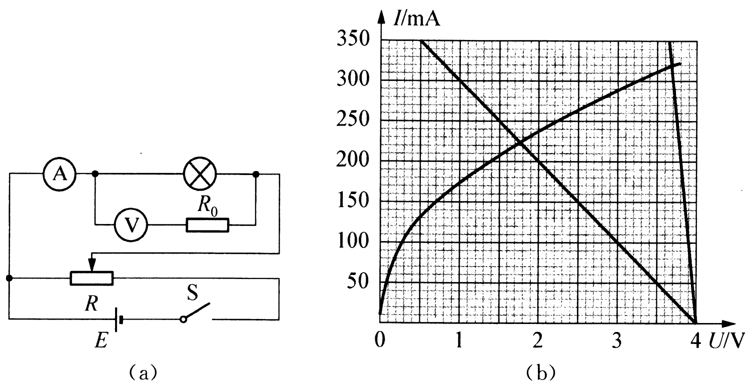
解析 (1) 连接电路时应将开关断开，且将电路中的电阻箱阻值应调至最大以保护电流表。

(2) 将表中的数据在方格纸上一一描点连线即可，如答图所示。由闭合电路的欧姆定律可得：$I=\frac{E}{R+r}$，变形为 $R=E\cdot\frac{1}{I}-r$，由图线的斜率可得 $E=1.4\ V$，由截距可得 $r=1.2\ \Omega$。

(3) 由图可知电压表的读数为 66 mV，电流表的示数为 0.33 A，所以电流表的内阻 $R_A=\frac{U}{I}=\frac{66\ mV}{0.33\ A}=0.2\ \Omega$。由于电流表有内阻，所以 $I=\frac{E}{R+R_A+r}$，即 $R=E\cdot\frac{1}{I}-(R_A+r)$，所以干电池的内阻：$r_{真}=r_{测}-R_A=1.2\ \Omega-0.2\ \Omega=1.0\ \Omega$，电动势测量不受影响。

7. (1) 如图(a)所示　(2) 增大　增大　(3) 0.39　1.17

解析　(1) 要求能够实现在 0～3.8 V 的范围内对小灯泡的电压进行测量，故滑动变阻器用分压式接法。电压表量程(3 V)不足，必须对电表进行改装，串联 1000 Ω 的定值电阻 R_0，改装成 4 V 的电压表。$R_L=\frac{3.8}{0.32}=11.875\ \Omega<\sqrt{R_A\cdot R_V}=\sqrt{0.5\times4000}\ \Omega$，小灯泡属于小电阻，电流表用外接法，如图(a)所示。



(a)　(b)

第 7 题答图

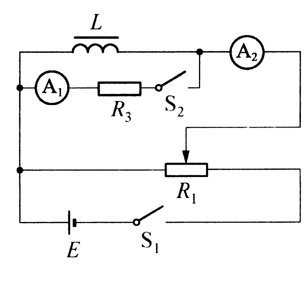
(2) 由 $I-U$ 图象可知，切线的斜率在减小，故小灯泡的电阻随电流增大而增大，再由电阻定律 $R=\rho\frac{l}{S}$ 知电阻率增大。

(3) 当滑动变阻器的阻值为 9 Ω 时，电路电流最小，灯泡实际功率最小，此时 $E_0=U+I(r+R)$，得：$U=-10I+4$，在图中作出该直线如图(b) 中左侧直线所示，与灯泡伏安特性曲线的交点坐标约为：$U_1=1.75\ V$，$I_1=225\ mA$，$P_1=U_1I_1=0.39\ W$；由 $E_0=U+I(r+R)$ 整理得：$I=-\frac{1}{R+r}U+\frac{E_0}{R+r}$，当直线的斜率最大时，与灯泡的 $I-U$ 曲线的交点坐标最大，即灯泡消耗的功率最大，故当滑动变阻器电阻值 $R=0$ 时，灯泡消耗的功率最大，作出该直线如图(b) 中右侧直线所示，此时交点坐标为：$U_2=3.67\ V$，$I_2=0.32\ A$，最大的功率为 $P_2=U_2I_2=1.17\ W$。

8. (1) F　D　(2) 如图所示　(3) S_2　(4) 2.2

解析　(1) 测量线圈的电阻一般采用伏安法，为了防止测量自感系数很大的线圈断电产生的大自感电流烧坏电表，可与电表串联一个开关。由于待测线圈 L 的阻值约为 2 Ω，额定电流为 2 A，最大电压为 4 V，而电源电动势为 9 V，所以定值电阻选 F、滑动变阻器选 D 即可。

(2) 由于本实验要求在尽可能大的范围内测得数据，所以必须采用滑动变阻器的分压接法。电路如答图所示。



第 8 题答图

(3) 实验结束时为了防止测量自感系数很大的线圈断电产生的大自感电

流烧坏电表，应先断开开关 S_2。

(4) 由电路图知自感线圈两端的电压与下边支路电压相等，所以 $I_1(R_3+r_1)=(I_2-I_1)R_L$，得：$R_L=\frac{I_1}{I_2-I_1}(R_3+r_1)$，从 I_1-I_2 图象上选取一组数据，如(0.3, 1.8)代入公式得：$R_L=\frac{0.3\ \Omega}{1.8\ \Omega-0.3\ \Omega}\times(10\ \Omega+1\ \Omega)=2.2\ \Omega$。

9. ① 0～100 mA　R_2　② 25　③ $\frac{U_0}{I_0}-r$　④ 相同　不同

解析　(1) 由题意可知，电动势为 6 V，而电阻约为数十欧，为了保证实验的安全，电流表应选择 100 mA 量程；由电路图可知，滑动变阻器起调节电流的作用，5 Ω 的电阻小于待测电阻较多，故只能选择 R_2。

(2) 图象的斜率表示电源的内阻，则可知内阻为：$r=\frac{5.5-4.0}{0.06}\ \Omega=25\ \Omega$。

(3) 将 R_x 改接在 2、3 之间，由题意可知，等效内阻为：$R_x+r=\frac{U_0}{I_0}$；解得：$R_x=\frac{U_0}{I_0}-r$。

(4) 由于在调节滑动变阻器时，闭合电路中电阻不变，故电流表的变化范围相同；而由于电压表测量的是路端电压，由于等效内电阻不同，故电压表的变化范围不同。

10. (1) 串　3000　(2) 如答图甲所示　(4) (i) 0.36　1.0　(ii) 0.18(0.17～0.19 也可)　(iii) 0.22(0.20～0.23 也可)

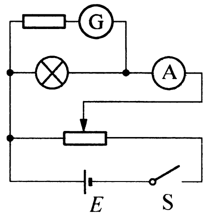
解析　(1) 用灵敏电流计 G 改装电压表需串联电阻 R，由 $I_G(R_G+R)=U$ 知：$R=3000\ \Omega$。

(2) 为描绘小灯泡的伏安特性曲线，电压需从零开始调节，滑动变阻器应该用分压式连接，灯泡电阻较小，应用外接法，电路图如答图甲所示。

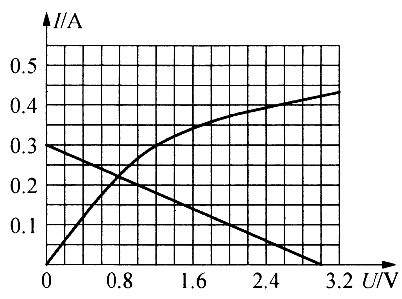
(4) (i) 电源输出功率：$P=\left(\frac{E}{R+r+R_L}\right)^2R_L$，可知当 $R_L+R=r$ 时，电源的输出功率最大，此时电源的内电压为 $\frac{E}{2}$，电路中的电流为 $I=\frac{E}{2r}=0.3$ A，根据 $I-I_G$ 图象知此时 $I_G=0.3$ mA，灯泡的电压为 $U_L=I_G(R_G+R)=0.3\times10^{-3}\times4000\ \text{V}=1.2$ V，故 $R=\frac{\frac{E}{2}-U_L}{I}=\frac{1.5-1.2}{0.3}\ \Omega=1.0\ \Omega$，灯泡的功率为 $P_L=U_LI=1.2\times0.3\ \text{W}=0.36$ W。

(ii) 根据 $I-I_G$ 图象画出小灯泡的 $I-U$ 图，两个相同的小灯泡并联接在电动势 $E=3.0$ V，内阻 $r=5.0\ \Omega$ 的电源两端时，有：$E=U+2Ir$，得：$I=0.3-0.1U$，在同一坐标系中作出对应图象如答图乙所示，读出与灯泡的 $I-U$ 图线的交点坐标值分别为 0.8 V、0.22 A，两者乘积即是灯泡的实际功率，其功率为 0.18 W。

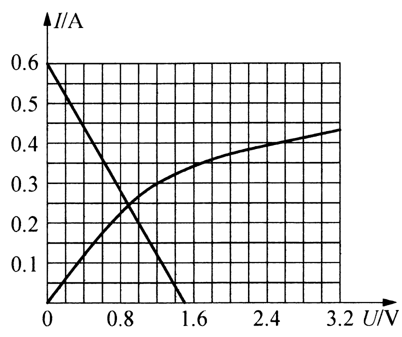
(iii) 把上述两个相同的小灯泡串联接在电动势 $E=3.0$ V，内阻 $r=5.0\ \Omega$ 的电源两端时，有：$E=2U+Ir$，即：$I=0.6-0.4U$，作出该图象如答图丙所示，得到交点坐标为 0.9 V、0.24 A，灯泡的实际功率为 0.22 W。



甲



乙



丙

第 10 题答图

11. (1) a. S_1 和 S_2；b. S_1，S_2，V_1 的读数 U_1' 和 V_2 的读数 U_2　(2) $E=\frac{U_1U_2}{U_1-U_1'}$，$r=\left(\frac{U_2}{U_1-U_1'}-1\right)R_{V1}$

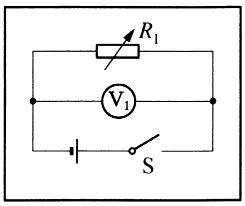
(3) 如答图(a)所示　(4) $\frac{1}{U}=\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{E}$　如答图(b) 所示

解析　(1) 实验步骤：a. 闭合电键 S_1 和 S_2，记下 V_1 的读数 U_1；b. 闭合电键 S_1，断开 S_2，记下 V_1 的读数 U_1' 和 V_2 的读数 U_2。

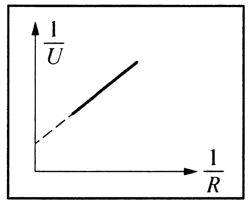
(2) 根据闭合电路欧姆定律得：$U_1+\frac{U_1}{R_{V1}}r=E$，$U_1'+U_2+\frac{U_1'}{R_{V1}}r=E$，联立解得：$E=\frac{U_1U_2}{U_1-U_1'}$，$r=\left(\frac{U_2}{U_1-U_1'}-1\right)R_{V1}$。

(3) 运用电阻箱和电压表，通过伏阻法测量，电路图如答图(a)所示。

(4) 根据 $E=U+\frac{U}{R}r$，得 $\frac{1}{U}=\frac{r}{E}\cdot\frac{1}{R}+\frac{1}{E}$，即 $\frac{1}{U}$ 与 $\frac{1}{R}$ 成线性关系，纵轴截距的倒数表示电动势，图象的斜率表示内阻与电动势的比值，对应的图象如答图(b) 所示。



(a)



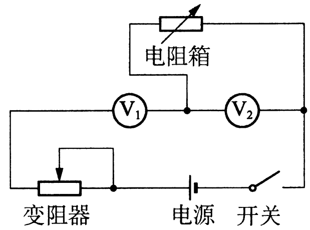
(b)

第 11 题答图

点睛　根据闭合电路欧姆定律求出电源电动势和内阻，运用电压表和电阻箱，通过伏阻法测量电源的电动势和内阻。根据实验的原理 $E=U+\frac{U}{R}r$，推导出线性表达式，通过线性图象能直观地知道电动势和内阻。

12. (1) 如答图所示　(2) R_1　(3) 2.10 V　(4) 5.60 V　2.5 kΩ　10 kΩ

解析　(1) 由题意可知，本实验需要测量电压表内阻和电源的电动势，故应采用电阻箱与电压表组合进行测量；电源的电动势为 6 V，而两电压表量程均较小，因此采用电压表 V_2 与电阻箱并联，再与电压表 V_1 串联的方式进行测量，电路图如答图所示。



第 12 题答图

(2) 因电压表内阻以及电阻箱使用电阻均较大，所以变阻器应采用总阻值较大的 R_1。

(3) 电压表量程为 2.5 V，最小分度为 0.1 V，故电压表 V_1 的示数为 2.10 V。

(4) 根据(3)中数据可知：$\frac{U_2}{R}+\frac{U_2}{R_{V2}}=\frac{U_1}{R_{V1}}$，$\frac{U_2'}{R'}+\frac{U_2'}{R_{V2}}=\frac{U_1'}{R_{V1}}$，代入数据得：$\frac{2.40}{6000}+\frac{2.40}{R_{V2}}=\frac{1.60}{R_{V1}}$，$\frac{1.40}{6000}+\frac{1.40}{R_{V2}}=\frac{2.10}{R_{V1}}$，联立解得：$R_{V1}=2.5\ \text{k}\Omega$，$R_{V2}=10\ \text{k}\Omega$。利用闭合电路欧姆定律可知，$U_1+U_2=E-\frac{U_1}{R_{V1}}(R_1+r)$，$U_1'+U_2'=E-\frac{U_1'}{R_{V1}}(R_1+r)$，联立方程消去$(R_r+r)$，再代入数据得：$E=5.60$ V。

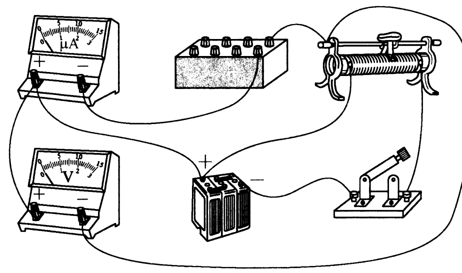
点睛　本题考查测量电源电动势和内电阻的实验，同时加入了测电压表内阻的实验，属于探究性的实验。要求能准确分析实验电路，明确实验原理，从而确定对应的电路图；分析电表内阻以及电阻箱的使用，从而确定变阻器采用限流接法时应采用大电阻；根据电压表量程分析最小分度，从而确定读数；根据串并联电路的规律进行分析，对两种情况进行列式，联立求出电表内阻，再根据闭合电路欧姆定律进行分析，确

定电源的电动势。

13. (1) D　C　F　(2) ① C　② A　③ D　④ B　⑤ E　⑥ F　(3) 600

(4) 串　49 400　(5) 如答图所示

解析　首先我们要知道半偏法测量电流表内阻的方法以及测量原理。如图，设电源的电动势为 E，内阻为 r，S_2 打开时，设电流表满偏电流 $I_g = \dfrac{E}{r + R_1 + R_g}$，实验要求 $R_1 \gg R_g$，$R_1 \gg r$，这样才有 $I_g \approx \dfrac{E}{R_1}$，当 S_2 闭合时，R_2 和 R_g 并联，并联后总阻值 $R_{并} < R_g \ll R_1$，这样才有 S_2 闭合后，电路中总电流几乎不变，仍然近似等于 I_g，调节 R_2 使电流表半偏为 $\dfrac{1}{2}I_g$，所以流过 R_2 的电流也为 $\dfrac{1}{2}I_g$，所以 $R_2 = R_g$。



第 13 题答图

(1) 从上述原理可知，S_2 打开与闭合，近似认为干路中电流不变，前提是 $R_1 \gg R_g$，故实验器材选择应满足：① 电源电动势尽可能大，② R_1 尽可能大。所以 R_1 选用大量程的电阻箱 D，R_2 选用较小的电阻箱 C，电源选用电动势较大的 F。

(2) 根据半偏法测量原理，其操作步骤为：按图示电路图连接好电路；C. 将 R_1 的阻值调至最大；B. 闭合 S_1；D. 调节 R_1 的阻值，使电流表指针偏转到满刻度；B. 闭合 S_2；E. 调节 R_2 的阻值，使电流表指针偏转到满刻度的一半；F. 记下 R_2 的阻值。故实验步骤的合理顺序为 CADBEF。

(3) 如果在步骤 F 中 R_2 的阻值为 600 Ω，则图(a)中电流表内阻 R_g 的测量值为：$R_g = R_2 = 600\ \Omega$。

(4) 如果要将第(3)小题中的电流表 A 改装成量程为0～5 V 的伏特表，则改装的方法是与电流表串联一个电阻，阻值为：$R = \dfrac{U}{I_g} - r_g = \dfrac{5}{100 \times 10^{-6}} - 600 = 49\ 400\ \Omega$。

(5) 校对电压表时，电压应从零开始变化，滑动变阻器应采用分压接法，标准电压表与改装后的电压表应并联，根据电路图连接实物电路图，实物电路图如图所示。

专题十八　热学综合

1. (1) ACD　(2) ① 873 J　② 57℃

解析　(1) 具有各向异性的固体一定是晶体，选项 A 正确；悬浮在液体中的小颗粒越大，液体分子对其碰撞的平衡性越大，布朗运动越不明显，选项 B 错误；露珠呈球状是由于液体表面分子较内部稀疏，从而形成了表面张力的原因，选项 C 正确；分子间的引力和斥力均随着分子间距离的增大而减小，不过斥力减小得快，引力减小得慢，选项 D 正确；把两块纯净的铅压紧，它们会“粘”在一起，说明这个区域分子间的引力大于分子间的斥力而表现为引力，不能说明分子间只存在引力，选项 E 错误。选 ACD。

(2) ① 设缸内气体初态压强为 p_1，对活塞由受力平衡条件有：$p_0S = G + p_1S$，在电热丝对气体加热 20 s 的过程中，气体对外界做的功为：$W = p_1Sh$，电阻丝产生的热量为 $Q = I^2Rt$，其中 $I = \dfrac{E}{R + r}$，根据热力学第一定律有 $\Delta U = Q - W$，解得 $\Delta U = 873$ J，即气体的内能增加了 873 J。

② 气体做等压膨胀，由盖-吕萨克定律有 $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_1 + Sh}{T_2}$，解得 $T_2 = 330$ K，即缸内气体的温度是 57℃。

2. (1) 106 cmHg　(2) 80 cm

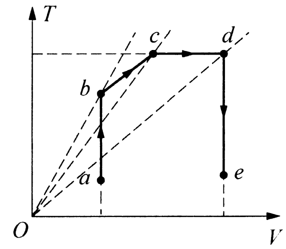
解析　(1) 对水银柱分析，根据平衡条件可得：$p_1S = p_0S + 30S$，解得：$p_1 = p_0 + 30\ \text{cmHg} = 106\ \text{cmHg}$。

(2) 假设玻璃管足够长，所有水银都能留在管内，则倒立后管内封闭气体的压强为：$p = p_0 - 30\ \text{cmHg} = 46\ \text{cmHg}$，根据玻意耳定律：$p_1L_0 = pL'$，可知气柱长度将变为：$L' = 92$ cm，因为此种情况下：92 cm + 30 cm > 103 cm，所以必有部分水银溢出，设剩余空气柱的长度为 l，则气柱的压强为：$p_2 = p_0 - (L -$

$l)$cmHg $=(l-27)$cmHg，根据玻意耳定律可得：$p_1L_0=p_2l$，解得：$l=80$ cm。

点睛 本题考查气体定律与力学平衡的综合运用。解题关键是要利用平衡条件求出初末状态封闭气体的压强；分析压强 p、体积 V、温度 T 三个参量的变化情况，再选择合适的规律解决；可利用假设法判定管子转动中是否有水银溢出，再利用玻意耳定律求解管内空气柱的长度。

3. (1) BDE (2) $m=\dfrac{15p_0S}{26g}$



第 3 题答图

解析 (1) 过程①中气体体积不变，温度升高压强增大，选项 A 错误；过程②中气体体积增大，对外界做功，选项 B 正确；过程④中气体温度降低，内能减少，体积不变，气体不做功，根据热力学第一定律：$\Delta U=Q+W$，得：$Q<0$，即气体放出热量，选项 C 错误；状态 c、d 的温度相同，故内能相等，选项 D 正确；分别作出状态 b、c、d 的等压线如答图中虚线所示，分析可知，$p_b>p_c>p_d$，选项 E 正确。

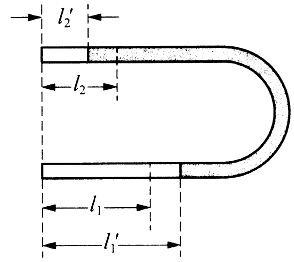
(2) 设活塞再次平衡后，活塞上方气体的体积为 V_1，压强为 p_1；下方气体的体积为 V_2，压强为 p_2，在活塞下移的过程中，活塞上下方气体的温度均保持不变。由玻意耳定律得：$p_0\dfrac{V}{2}=p_1V_1$ ①，$p_0\dfrac{V}{2}=p_2V_2$ ②，由已知条件得：$V_1=\dfrac{V}{2}+\dfrac{V}{6}-\dfrac{V}{8}=\dfrac{13}{24}V$ ③，$V_2=\dfrac{V}{2}-\dfrac{V}{6}=\dfrac{V}{3}$ ④。设活塞上方液体的质量为 m，由力的平衡条件得：$p_2S=p_1S+mg$ ⑤，联立以上各式得：$m=\dfrac{15p_0S}{26g}$ ⑥。

4. $T_2=\left(1+\dfrac{h}{H}\right)\left(1+\dfrac{mg}{p_0S}\right)T_0$ $W=(p_0S+mg)h$

解析 由于活塞处于平衡状态，所以可以利用活塞处于平衡状态求封闭气体的压强，然后找到不同状态下气体参量，计算温度或者体积。开始时活塞位于 a 处，加热后，气缸中的气体先经历等容过程，直至活塞开始运动。设此时气缸中气体的温度为 T_1，压强为 p_1，根据查理定律有：$\dfrac{p_0}{T_0}=\dfrac{p_1}{T_1}$ ①，根据力的平衡条件有：$p_1S=p_0S+mg$ ②，联立①②式可得：$T_1=\left(1+\dfrac{mg}{p_0S}\right)T_0$，此后气缸中的气体经历等压过程，直至活塞正好到达 b 处，设此时气缸中气体的温度为 T_2，活塞位于 a 处和 b 处时气体的体积分别为 V_1、V_2，根据盖-吕萨克定律有：$\dfrac{V_1}{T_1}=\dfrac{V_2}{T_2}$ ④，式中 $V_1=SH$ ⑤，$V_2=S(H+h)$ ⑥，联立③④⑤⑥式解得：$T_2=\left(1+\dfrac{h}{H}\right)\left(1+\dfrac{mg}{p_0S}\right)T_0$ ⑦。从开始加热到活塞到达 b 处的过程中，气缸中的气体对外做的功为：$W=(p_0S+mg)h$ ⑧。

点睛 本题的关键是找到不同状态下的气体参量，再利用气态方程求解即可。由于活塞处于平衡状态，所以可以利用活塞处于平衡状态来求封闭气体的压强，然后找到不同状态下气体参量，计算温度或者体积。

5. (1) BCD (2) 左、右两边气体长度分别为 22.5 cm、7.5 cm



第 5 题答图

解析 (1) 由理想气体状态方程 $\dfrac{pV}{T}=C$，从状态 a 到状态 b，气体温度一直升高，选项 A 错误；一定质量的理想气体的内能由温度决定，可知气体内能一直增加，选项 B 正确；气体体积逐渐膨胀，一直对外做功，选项 C 正确；根据热力学第一定律可知，气体一直从外界吸热，吸收的热量一部分用来对外做功，一部分用来增加气体的内能，选项 D 正确。

(2) 设 U 形管两端竖直朝上时，左、右两边气体的压强分别为 p_1 和 p_2。U 形管水平放置时，两边气体压强相等，设为 p，此时原左、右两边气体长度分别变为 l_1' 和 l_2'。由力的平衡条件有：$p_1=p_2+\rho g(l_1-l_2)$ ①，式中 ρ 为

水银密度，g 为重力加速度大小。由玻意耳定律有：$p_1l_1 = pl_1'$ ②，$p_2l_2 = pl_2'$ ③，$l_1' - l_1 = l_2 - l_2'$ ④，由①②③④式和题给条件得：$l_1' = 22.5\ \text{cm}$ ⑤，$l_2' = 7.5\ \text{cm}$ ⑥。

6. (1) $2.0\times10^5\ \text{Pa}$ (2) 1600 K

解析 (1) 设整个均匀管道的内部体积为 V，则对于管道下部分气体，由于气体做等温变化，据题设条件有：$p_0\frac{2}{3}V = p_下\frac{1}{3}V$，解得：$p_下 = 2.0\times10^5\ \text{Pa}$。

(2) 对于管道上部分气体，根据理想气体状态方程有：$\frac{p_0\frac{1}{3}V}{T_0} = \frac{p_上\frac{2}{3}V}{T}$，又因 $p_上 = p_下 = 2.0\times10^5\ \text{Pa}$，解得 $T = 1600\ \text{K}$。

7. (1) B 点温度最高，D 点温度最低，$T_B = 360\ \text{K}$，$T_D = 200\ \text{K}$ (2) $W = 7.5\times10^2\ \text{J}$

解析 (1) 由理想气体状态方程：$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$，知 pV 乘积与 T 成正比，所以 B 点温度最高，D 点温度最低。对于 A 到 B 过程：$T_B = \frac{p_BV_BT_A}{p_AV_A} = 360\ \text{K}$，对于 A 到 D 过程：$T_D = \frac{p_DV_DT_A}{p_AV_A} = 200\ \text{K}$。

(2) 可建立圆柱体内的气体推动活塞做功模型，由功的公式可得对 A 到 D 的过程：

$W = F\cdot x = \frac{F_1+F_2}{2}\cdot x = \frac{p_AS+p_DS}{2}\cdot x = \frac{p_A+p_D}{2}\cdot Sx = \frac{p_A+p_D}{2}\cdot(V_D-V_A)$，代入图示的数据可以求得：$W = 7.5\times10^2\ \text{J}$。

8. (1) $\Delta U = Q - 2(p_0S+mg)h$ (2) $T_2 = \frac{2}{3}\left(1+\frac{m_0g}{p_0S+mg}\right)T_1$

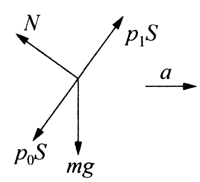
解析 (1) 等压过程气体的压强为 $p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$，则气体对外做功 $W = p_1S(2h) = 2(p_0S+mg)h$，由热力学第一定律得 $\Delta U = Q - W$，解得内能增加量 $\Delta U = Q - 2(p_0S+mg)h$。

(2) 停止对气体加热后，添加细砂，活塞恰好下降了 h，此时气体的温度为 T_2，则初态：$p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$，$V_1 = 3hS$，热力学温度为 T_1，末态：$p_2 = p_0 + \frac{(m_0+m)g}{S}$，$V_2 = 2hS$，热力学温度为 T_2，由理想气体状态方程：$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$，解得：$T_2 = \frac{2}{3}\left(1+\frac{m_0g}{p_0S+mg}\right)T_1$。

9. (1) 15 cm (2) $a = 5\ \text{m/s}^2$

解析 (1) 玻璃管竖直时，管内气体压强为：$p_1 = (75+15)\text{cmHg} = 90\ \text{cmHg}$；当玻璃管倾斜时，管内气体压强为：$p_2 = p_0 + \rho gh\sin37° = 84\ \text{cmHg}$；气体发生等温变化，则有：$p_1LS = p_2xS$，解得：$x = 15\ \text{cm}$。

(2) 如果玻璃管向右做加速运动，使管中气体的长度仍为 L，则管内气体的压强仍为 p_1，对水银柱研究，受力如答图所示，有：$(p_1-p_0)S\cos\theta - N\sin\theta = ma$，$(p_1-p_0)S\sin\theta + N\cos\theta = mg$，其中 $m = \rho Sh$，解得：$a = 0.5g = 5\ \text{m/s}^2$。



第 9 题答图

10. 138.6 J

解析 整个过程中，气体内能变化 $\Delta V=0$，设外界对气体做功为 W，有：$W = W_{AB} + W_{CA}$，且从 C 到 A 的过程为等压变化，有：$W_{CA} = F\cdot\Delta x = p_AS\cdot\Delta x = p_A(V_C-V_A)$，得：$W_{CA} = 200\ \text{J}$，由热力学第一定律：$\Delta U = Q+W$，得：$W_{AB} = -(Q+W_{CA})$，代入数据得：$W_{AB} = -138.6\ \text{J}$，即气体对外界做的功为 138.6 J。

11. (1) 40 (2) 4 L

解析 (1) 环境温度不变，封闭在药液上方的气体做等温变化，设打气 n 次，对封闭在药液上方的空气和打入的空气，初态：$p_1 = 1\ \text{atm}$，$V_1 = (2+0.2n)\ \text{L}$，末态：$p_2 = 5\ \text{atm}$，$V_2 = 2\ \text{L}$，由玻意耳定律得：$p_1V_1 = p_2V_2$，解得：$n = 40$。

(2) 当喷雾器不能再向外喷药时，筒内空气的压强为：$p_3 = 1\ \text{atm}$，由玻意耳定律得：$p_2V_2 = p_3V_3$，解得：

$V_3 = \frac{p_2V_2}{p_3} = \frac{5\times 2}{1}$ L $= 10$ L,剩下的药液体积为:$V = 14$ L $- 10$ L $= 4$ L。

12. (1) $p_A = 60$ cmHg　$p_B = 40$ cmHg　(2) 170 K

解析　(1) 根据图示分析 A、B 两部分气体的状态:$p_B = p_0 - 35 = 40$(cmHg),$V_B = 20S$,$T_B = 300$ K,$p_A = p_B + 20 = 60$(cmHg),$V_A = 10S$,$T_A = 300$ K。

(2) 加热后由于两管内上部水银面相平,可得两部分气体的压强相等,即 $p'_A = p'_B$,设此时水银槽内水银面与 B 气柱下端水银面的高度差为 x,则:$p'_B = 75 - x$,$V'_B = (35 + 20 + 30 - 40 - x)S = (45 - x)S$,$p'_A = 75 - x$,$V'_A = (50 + 10 - 40)S = 20S$,对 A 部分气体由理想气体状态方程得:$\frac{p_AV_A}{T_A} = \frac{p'_AV'_A}{T'_A}$,即:$\frac{60\times 10S}{300} = \frac{(75 - x)\cdot 20S}{T'_A}$①,对 B 部分气体根据玻意耳定律得:$p_BV_B = p'_BV'_B$,即:$40\times 20S = (75 - x)(45 - x)S$②,由②式得:$x^2 - 120x + 2575 = 0$,解得:$x = 28$ cm,或 $x = 92$ cm(舍去),将此结果代入①,解得:$T'_A = 470$ K,A 管应升温:$\Delta T = (470 - 300)$K $= 170$ K。

专题十九　振动与波

1. (1) 1 m/s　方向:沿 x 轴正方向　(2) $y = 0.2\sin\frac{\pi}{2}t$(m)

解析　(1) 根据波形图得到波长 $\lambda = 4$ m。$t = 0$ 时刻,质点 Q 正向下运动;从 $t = 0$ 时刻开始计时,当 $t = 15$ s 时 质点 Q 刚好第 4 次到达波峰,故有:$3T + \frac{3}{4}T = t$,解得:$T = \frac{4}{15}t = 4$ s,故波速为:$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4\text{ m}}{4\text{ s}} = 1$ m/s。

(2) $t=0$ 时刻,质点 P 正在向上运动,振幅为:$A = 0.2$ m;角频率为:$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{2}$ rad/s,故质点 P 做简谐运动的表达式为:$y = 0.2\sin\frac{\pi}{2}t$(m)。

2. A

解析　由质点带动法,知波源 S 开始振动时的方向即为 $x = 40$ m 处质点在 $t = 0$ 时的振动方向,沿 y 轴负方向,故A正确;该波的周期 $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{20}{400}$ s $= 0.05$ s,$t = 0.5$ s $= 10$ T,则根据波的周期性知 $x = 40$ m 处的质点在 $t = 0.5$ s 又回到平衡位置,位移为 0,故 B 错误;$t = \frac{s}{v} = \frac{400 - 40}{400}$ s $= 0.9$ s,即接收器在 $t = 0.9$ s才能接收到此波,故C错误;波源 S 向 x 轴负方向运动,波源与接收器间的距离增大,则接收器收到的波的频率将变小,故 D 错误。故选 A。

点睛　本题考查波的传播的基本知识,易错点在C项,易错求出时间为 1 s。注意波在传播过程中频率不变。D选项要根据波源与接收器间距离变化分析多普勒效应。

3. (1) L　(2) 0.5 m/s

解析　(1) 根据图乙知,$t = 0$ 时刻质点向上振动,结合图甲,知波向右传播,经 $\frac{T}{4}$ 该质点到达波峰,所以 L 点符合此振动规律。

(2) 由甲图可知 $\lambda = 2.0$ m,由乙图可知 $T = 4$ s,故该波的波速 $v = \frac{\lambda}{T} = 0.5$ m/s。

4. (1) 365 m　(2) $\frac{245}{17}$

解析　(1) 设桥长为 l,声音在空气或钢铁中匀速传播,根据题意,有:$\frac{l}{v_{气}} - \frac{l}{v_{铁}} = 1.00$ s,得:$l \approx 365$ m。声音在钢铁、空气中传播时的周期不变,则波长之比为:$\frac{\lambda_{铁}}{\lambda_{气}} = \frac{v_{铁}T}{v_{气}T} = \frac{v_{铁}}{v_{气}} = \frac{245}{17}$。

5. ACE

解析　根据题意，从题图中可以看出该波波长 $\lambda=0.16\ \text{m}$，由于周期 $T>0.20\ \text{s}$，因此在 $0.20\ \text{s}$ 时间内波向 x 轴正方向传播只能是 0.5λ，所以周期为 $0.40\ \text{s}$，波速为：$v=\dfrac{\lambda}{T}=0.40\ \text{m/s}$，选项 A 对、B 错；$0.7\ \text{s}=1.75T$，$0.12\ \text{s}=0.3T<0.5T$，因为 $t=0$ 时刻位于 $0.08\ \text{m}$ 处的质点向上振动，故 $t=0.70\ \text{s}$ 时质点处于波谷位置，$t=0.12\ \text{s}$ 时在介于平衡位置和波峰之间，选项 C 对 D 错；波传播到另一介质中后周期不变，波长变为 $\lambda'=v'T=0.32\ \text{m}$，选项 E 对。故选 ACE。

6. (1) $v=18\ \text{cm/s}$　波沿 x 负方向传播　(2) $x_Q=9\ \text{cm}$

解析　(1) 由图(a)可以看出，该波的波长为：$\lambda=36\ \text{cm}$ ①，由图(b)可以看出，周期为：$T=2\ \text{s}$ ②，波速为：$v=\dfrac{\lambda}{T}=18\ \text{cm/s}$ ③，由图(b)知，当 $t=\dfrac{1}{3}\ \text{s}$ 时，Q 点向上运动，结合图(a)可得，波沿 x 负方向传播。

(2) 设质点 P、Q 平衡位置的 x 坐标分别为 x_P、x_Q，由图(a)知，$x=0$ 处 $y=-\dfrac{A}{2}$，即：$y=A\sin(-30^\circ)$，因此 $x_P=\dfrac{30^\circ}{360^\circ}\lambda=3\ \text{cm}$；由图(b)知，$t=0$ 时 Q 处于平衡位置，经 $\Delta t=\dfrac{1}{3}\ \text{s}$，其振动状态向 x 负方向传至 P 点处，有：$x_Q-x_P=v\Delta t=6\ \text{cm}$，故质点 Q 的平衡位置 x 坐标为：$x_Q=9\ \text{cm}$。

7. AD

解析　$t=0$ 时刻振子的位移 $x=-0.1\ \text{m}$，$t=1\ \text{s}$ 时刻 $x=0.1\ \text{m}$，关于平衡位置对称；如果振幅为 $0.1\ \text{m}$，则 $1\ \text{s}$ 为半周期的奇数倍；如果振幅为 $0.2\ \text{m}$，分靠近平衡位置运动和远离平衡位置运动两种情况分析。

(1) 若振幅为 $0.1\ \text{m}$，根据题意可知从 $t=0\ \text{s}$ 到 $t=1\ \text{s}$ 振子经历的时间为 $\left(n+\dfrac{1}{2}\right)T$，即：$\left(n+\dfrac{1}{2}\right)T=1\ \text{s}$，$(n=0,1,2,3\cdots)$，解得 $T=\dfrac{2}{2n+1}\ \text{s}$，$(n=0,1,2,3,\cdots)$，当 $n=1$ 时 $T=\dfrac{2}{3}\ \text{s}$，选项 A 正确；无论 n 为何值，T 都不会等于 $\dfrac{4}{5}\ \text{s}$，选项 B 错误；

(2) 若振幅为 $0.2\ \text{m}$，结合位移时间关系图象，有：$1\ \text{s}=\dfrac{T}{2}+nT$ ①，或者 $1\ \text{s}=\dfrac{5}{6}T+nT$ ②，或者 $1\ \text{s}=\dfrac{T}{6}+nT$ ③，对于①式，当 $n=0$ 时，$T_{max}=2\ \text{s}$，对于②式，$n=0$ 时，$T_{max}=1.2\ \text{s}$，对于③式，当 $n=0$ 时，$T_{max}=6\ \text{s}$，之后只会小于 $6\ \text{s}$，故选项 C 错误、D 正确。选 AD。

点睛　$t=0$ 时刻振子的位移 $x=-0.1\ \text{m}$，$t=1\ \text{s}$ 时刻 $x=0.1\ \text{m}$，关于平衡位置对称；如果振幅为 $0.1\ \text{m}$，则 $1\ \text{s}$ 为半周期的奇数倍；如果振幅为 $0.2\ \text{m}$，再分先靠近平衡位置运动还是先远离平衡位置运动两种情况分析。此题有一定难度。

8. BCE

解析　经过同一位置时位移相同，根据 $a=-\dfrac{kx}{m}$ 可知加速度一定相同，选项 A 错；受迫振动中，驱动力频率不一定等于物体的故有频率，当两者相等时，发生共振现象，选项 B 对；波的传播方向上两相邻的相对平衡位置的位移始终相同的质点间距离等于波长，选项 C 对；简谐运动的动力学条件为：$F=-kx$，即回复力与它偏离平衡位置的位移大小成正比，方向总是指向平衡位置，选项 D 错；向人体发射频率已知的超声波被血管中的血流反射后又被仪器接收，测出反射波的频率变化就能知道血流速度，这是多普勒效应的应用，俗称"彩超"，选项 E 对。

9. (1) 向 x 轴正方向传播，$v=40\ \text{m/s}$；沿 x 轴负方向传播，$v=120\ \text{m/s}$。

(2) 位移为 $2\ \text{m}$，路程是 $3\ \text{m}$

解析　(1) 由图可知波长 $\lambda=8\ \text{m}$，在一个周期内，如波沿 x 轴正方向传播，则在 $0.05\ \text{s}$ 内向右传播了 $\Delta x=\dfrac{1}{4}\lambda=2\ \text{m}$，由 $v=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ 解得：$v=40\ \text{m/s}$；同理，若波沿 x 轴负方向传播，则 $\Delta x'=\dfrac{3}{4}\lambda=6\ \text{m}$，波速为

120 m/s。

(2) 若波速为 600 m/s，则在 0.05 s 内，波传播的距离为 30 m，即 $3\frac{3}{4}\lambda$，波沿 x 轴负方向传播，由同侧原理可知 $t=0$ 时 P 向 y 轴负方向运动，波传播距离为 $3\frac{3}{4}\lambda$，则质点振动时间为 $3\frac{3}{4}T$，因振幅是 2 cm，所以 P 质点的位移为 2 cm，路程是 $s=3\times 4A+3A=30$ cm。

10. (i) 2 s；$y=-0.1\sin \pi t(\mathrm{m})$　(ii) $y_Q=-5\sqrt{2}$ cm

解析　(i) 质点的周期为 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{2}{1}$ s $=2$ s，P 质点的振动方程为：$y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}+\pi\right)$，解得：$y=-0.1\sin \pi t(\mathrm{m})$；

(ii) P 点的振动传到 Q 所需要的时间为：$t_1=\frac{\Delta x}{v}=\frac{1.25}{1}$ s $=1.25$ s，Q 振动的时间为：$t_2=t-t_1=4.25$ s，则 Q 点的位移为：$y_Q=-0.1\sin \pi t_2(\mathrm{m})$，解得 $y_Q=-5\sqrt{2}$ cm。

11. (i) 4 s，5 s　(ii) -20 cm

解析　(i)两列波的波速 $v=\frac{\lambda}{T}$，得：$v=2$ m/s。S_1 发出的波传到 M 点所用的时间：$t_1=\frac{S_1M}{v}=\frac{8}{2}$ s $=4$ s，S_2 发出的波传到 M 点所用的时间：$t_2=\frac{S_2M}{v}=\frac{\sqrt{8^2+6^2}}{2}$ s $=5$ s。

(ii) 波源 S_1 发出的波传至 M 后，M 点振动的时间：$\Delta t_1=t-t_1=\frac{3}{2}$ s，波源 S_1 发出的波引起 M 点振动的位移：$x_1=10\sin(\pi\Delta t_1)=-10(\mathrm{cm})$；波源 S_2 发出的波传至 M 后，M 点振动的时间：$\Delta t_2=t-t_2=\frac{1}{2}$ s，波源 S_2 发出的波引起 M 点振动的位移：$x_2=-10\sin(\pi\Delta t_2)=-10(\mathrm{cm})$。故 $t=5\frac{1}{2}$ s时，质点 M 的位移：$x=x_1+x_2=-20$ cm。

12. ACE

解析　根据波形图可知：$\lambda=1$ m，振幅 $A=2$ cm，则波动方程为：$y=A\sin\frac{2\pi}{\lambda}x=2\sin(2\pi x)$cm，选项 A 正确；将 M 点纵坐标 $y=\sqrt{2}$ cm 代入，结合图象解得 M 点的坐标为 $\left(\frac{3}{8}\text{ m}, \sqrt{2}\text{ cm}\right)$，选项 B 错误；由于经过时间 $\Delta t=0.1$ s，M 点首次到达波峰，即 M 点左侧相邻的波峰传导了 M 点，传播距离为：$\Delta x=\left(\frac{3}{8}-\frac{1}{4}\right)$ m $=\frac{1}{8}$ m，波传播速度为：$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}=1.25$ m/s，选项C正确；波的传播方向上任意质点的振动周期 $T=\frac{\lambda}{v}$，代入数据可得 $T=0.8$ s，选项D错误；假设质点 M 在此过程中振动了 n 个周期，则 $t=nT$，代入数据可得 $n=\frac{5}{8}=0.625$，因为 $t=0$ 时刻 M 向上振动，可知 $t=0.5$ s时 M 点首次到达波谷位置，所以质点 M 运动的路程：$s=(2-\sqrt{2})+2A=(6-\sqrt{2})$cm，此时 M 在波谷位置，选项E正确。选ACE。

点睛　解决本题的关键是写出波动方程，求出质点 M 的横坐标，能灵活运用波形平移法分析质点的位移。E选项中也可根据波传播的距离 $\Delta x=v\Delta t=1.25\times 0.5$ m $=0.625$ m，判断出 0.55 s时 M 在波谷位置，从而确定 M 的路程。

13. (1) 沿 x 轴正方向　(2) 12.5 Hz　(3) 75 m/s　方向：沿 x 轴正方向

解析　(1) 由波形和质点的振动方向关系可知，($t=0$ 时刻) 1.5 m 处质点向上运动，则该波沿 x 轴正方向传播。

(2) 通过图形可知，在 0.06 s 时间里，波向右传播 $n\lambda+\frac{3}{4}\lambda$，所以 $0.06\text{ s}=nT+\frac{3}{4}T$，则 $\frac{3}{4}T_{\max}=0.06$ s，

所以 $f_{\min} = \frac{1}{T_{\max}} = 12.5\ \text{Hz}$。

(3) 若 $3T < 0.06\ \text{s} < 4T$，则有 $0.06\ \text{s} = \left(3 + \frac{3}{4}\right)T$，得 $T = \frac{0.24}{15}\ \text{s}$，$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1.2}{0.24} \times 15\ \text{m/s} = 75\ \text{m/s}$。

14. CD

解析 由图读出波长为 12 cm，周期为 $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{0.12}{0.8}\ \text{s} = 0.15\ \text{s}$，故A错误；经过0.2 s即经过$1\frac{1}{3}$周期，根据波的平移法，波向左平移$\frac{1}{3}\lambda$即 4 m 与虚线吻合，故波一定沿 x 轴负方向传播，而不是可能沿 x 轴负方向传播，B错误；根据'上下波法'，$x = 4$ cm 处质点的速度沿 y 轴负方向，C正确；从$t = 0$ 到 $t = 0.2$ s，经过时间为 $\Delta t = 0.2\ \text{s} = 1\frac{1}{3}T$，故 $x = 4$ cm 处的质点通过的路程为 $5A < s < 6A$，每一次全振动质点振动方向改变两次，每次经过最大位移处振动方向发生改变，故质点振动方向改变了 3 次，D 正确。故选CD。

点睛 本题考查对波动图象的理解能力。应掌握波的传播具有时间的周期性和空间的周期性。给出两个时刻的波形图，常用波形平移法来分析相关问题。根据"上下坡法"判断质点的振动方向。要注意加速度方向与位移方向总是相反的。

15. (1) 5 cm/s (2) $t < 0.7$ s 时；$y = 0$；$t \geqslant 0.7$ s 时，$y = 2\sin[2.5\pi(t - 0.7)]$(cm)

解析 (1) $t = 0$ 时刻，P 向下振动，此前 P 已经到过一次波峰，根据题意有：$t_1 = T + \frac{3}{4}T$，$t_1 = 1.4$ s，解得：$T = 0.8$ s，由图知：$\lambda = 4$ cm，根据 $v = \frac{\lambda}{T}$ 解得：$v = 5$ cm/s。

(2) 由图知：$A = 2$ cm，Q 的起振时刻为：$t_2 = \frac{\overline{QA}}{v} = 0.7$ s，Q 的振动方程为：$y = A\sin\left[\frac{2\pi}{T}(t - t_2)\right]$，代入数据得：$t \geqslant 0.7$ s 时，$y = 2\sin[2.5\pi(t - 0.7)]$(cm)，$t < 0.7$ s 时，$y = 0$。

专题二十　光学综合

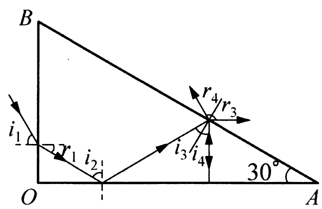
1. (1) C (2) $\lambda = \frac{v}{f}$ 不同 (3) $t = \frac{2l\cos\alpha}{c}$

解析 (1) 全息照片的拍摄利用了激光干涉的原理，选项 A 错误；光照射到肥皂薄膜时产生条纹是光的干涉现象，选项 B 错误；地球上接收到离地球远去的遥远星球发出的光的波长要变长，是多普勒效应，选项 C 正确；拍摄水中景物时在镜头前加偏振片是为了阻碍偏振光的透射，选项 D 错误。选 C。

(2) 光在纤维中的波长为 $\lambda = \frac{v}{f}$；沿不同方向射入同一光导纤维中的光信号传播的光程不同，而波长是相等的，所以在光导纤维中的总波数不同。

(3) 光从空气射入三棱镜时入射角为 $90° - \alpha$，折射角为 β，所以材料折射率：$n = \frac{\cos\alpha}{\sin\beta}$，光在三棱镜中速度 $v = \frac{c}{n} = c \cdot \frac{\sin\beta}{\cos\alpha}$，光在三棱镜中的光程 $s = 2l\sin\beta$，光在三棱镜中的传播时间 $t = \frac{s}{v} = \frac{2l\cos\alpha}{c}$。

2. (1) 光在 AO 面发生全反射 (2) 能从 AB 面上 C 点射向空气的有两束光，分别为与 AB 面成 30°向右、与 AB 面成 30°斜向左上方



第 2 题答图

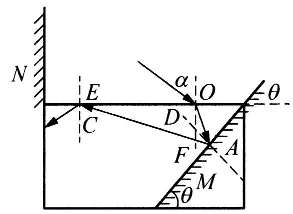
解析 (1) 设三棱镜的临界角为 C，则：$\sin C = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{3}}{3}$，由折射定律：$n = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$，所以 $r_1 = 30°$ $i_2 = 90° - r_1 = 60° > C$，故光在 AO 面发生全反射。

(2) 情况Ⅰ：光在 AB 面折射，$i_3 = 30°$，$\frac{1}{n} = \frac{\sin i_3}{\sin r_3}$，解得：$r_3 = 60°$。情

况Ⅱ：光经 AB 面反射后，垂直射向 AO 面，再次反射，之后光在 AB 面再次折射，有 $i_4 = i_3$，由对称性知：$r_4 = r_3 = 60°$，终上所述，有两束光从 AB 面射出，分别为与 AB 面成 $30°$ 向右，与 AB 面成 $30°$ 斜向左上。

点睛 几何光学题画出光路图是解题的关键。本题还要掌握全反射的条件和临界角公式，并用来解决实际问题。首先根据临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n}$ 得到临界角 C；光线从 BO 面射入三棱镜时，运用折射定律求出折射角；由几何知识求出光线射到 OA 面的入射角，与临界角 C 进行比较，判断能否发生全反射；若能发生全反射，作出光路图，求出光线射到 BA 面上的入射角。射到 BA 面上的光线一部分折射，还有一部分会反射，根据反射定律和几何关系分析求解。由折射定律求出折射角。

3. (i) 紫光 (ii) 最后消失的是红光，水对红色光的折射率是 $n = \frac{\sqrt{7}}{2}$



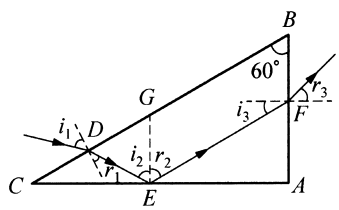
第 3 题答图

解析 (i) 逐渐增大平面镜的倾角 θ，反射光线逆时针转动，反射光线射到水面的入射角增大，由于紫光的临界角最小，所以紫光的入射角最先达到临界角，最先发生全反射，故从屏上最先消失的是紫光。

(ii) 在空气与水的界面，入射角 $\alpha = 60°$，折射角为 β，由折射定律有：$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ ①，红光在平面镜上的入射角为 γ，由几何关系知：$\beta + \gamma = 45°$ ②，红光由水面射向空气，恰好发生全反射时入射角为 C，由几何关系知：$C = \beta + 2\gamma$ ③，且：$\sin C = \frac{1}{n}$ ④，联立解得：$n = \frac{\sqrt{7}}{2}$ ⑤。

点睛 本题涉及折射和反射两种光学现象，需根据折射定律和反射定律进行分析。了解太阳光是由七种单色光组成的，其中红光的折射率最小，临界角最大。紫光的折射率最大，临界角最小，根据色光折射率的大小，确定其临界角大小。根据全反射条件分析先后消失的色光种类。对于平面镜，要充分利用对称性分析光路。

4. (1) $\delta = 60°$ (2) $\frac{2\sqrt{3}}{3} \leqslant n < 2$

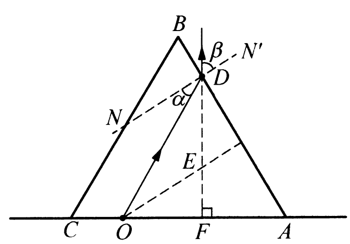


第 4 题答图

解析 (1) 光线在 BC 面上折射，由折射定律有 $\sin i_1 = n\sin r_1$ ①，式中 n 为棱镜的折射率，i_1 和 r_1 分别是该光线在 BC 面上的入射角和折射角。光线在 AC 面上发生全反射，由反射定律有：$i_2 = r_2$ ②，式中 i_2 和 r_2 分别是该光线在 AC 面上的入射角和反射角。光线在 AB 面上发生折射，由折射定律有：$n\sin i_3 = \sin r_3$ ③，式中 i_3 和 r_3 分别是该光线在 AB 面上的入射角和折射角。由几何关系得：$i_2 = r_2 = 60°$，$r_1 = i_3 = 30°$ ④，F 点的出射光相对于 D 点的入射光的偏角为：$\delta = (r_1 - i_1) + (180° - i_2 - r_2) + (r_3 - i_3)$ ⑤，由①②③④⑤式得：$\delta = 60°$ ⑥。

(2) 光线在 AC 面上发生全反射，在 AB 面上不发生全反射，有：$n\sin i_2 \geqslant n\sin C > n\sin i_3$ ⑦，式中 C 是全反射临界角，满足 $n\sin C = 1$ ⑧，由④⑦⑧式知，棱镜的折射率 n 的取值范围应为：$\frac{2\sqrt{3}}{3} \leqslant n < 2$ ⑨。

5. $n = \sqrt{3}$



第 5 题答图

解析 过 D 点作 AB 边的法线 NN'，连接 OD，则 $\angle ODN = \alpha$ 为 O 点发出的光线在 D 点的入射角。设该光线在 D 点的折射角为 β，如图所示，根据折射定律有：$n\sin\alpha = \sin\beta$①，式中 n 为三棱镜的折射率，由几何关系可知：$\angle\beta = 60°$②，$\angle EOF = 30°$③，在 $\triangle OEF$ 中有：$EF = OE\sin\angle EOF$ ④，由③④式和题给条件得：$OE = 2\text{ cm}$ ⑤，根据题给条件可知，$\triangle OED$ 为等腰三角形，有：$\alpha = 30°$ ⑥，由①②⑥式

得：$n=\sqrt{3}$ ⑦。

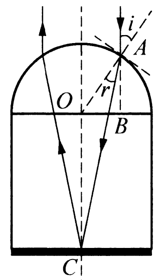
6. D

解析 设折射角为α，在右界面的入射角为β，三棱镜的顶角为A，根据几何关系有：$\alpha+\beta=A$，根据折射定律：$n=\frac{\sin i}{\sin\alpha}$，增大入射角$i$，折射角$\alpha$增大，$\beta$减小，而$\beta$增大才能使$b$光发生全反射，故A错误；由光路图可知，$a$光的折射率小于$b$光的折射率($n_a<n_b$)，则$a$光的波长大于$b$光的波长($\lambda_a>\lambda_b$)，故B错误；根据光电效应方程和遏止电压的概念可知：最大初动能$E_k=h\nu-W_0$，再根据动能定理：$-eU_c=0-E_k$，即遏止电压$U_c=\frac{h}{e}\nu-\frac{W_0}{e}$，可知入射光的频率越大，需要的遏止电压越大，$n_a<n_b$，则$a$光的频率小于$b$光的频率($\nu_a<\nu_b$)，$a$光的遏止电压小于$b$光的遏止电压，故D正确；光是一种横波，横波有偏振现象，纵波没有，有无偏振现象与光的频率无关，故C错误。选D。

点睛 本题考查的知识点较多，涉及到光的折射、全反射、光电效应方程、折射率与波长的关系、横波和纵波的概念等，解决本题的关键是能通过光路图判断出两种光的折射率的关系，并能熟练利用几何关系。

7. $n=\frac{\sqrt{205}}{10}$

解析 设入射点为A，AB为入射光线延长线，设入射角为i，折射角为r。依题意可知，光线反射前后传播路径完全对称，即在C点发生反射，如答图所示。已知$OB=0.6R$，$OA=R$。故：$AB=0.8R$，$\sin\angle AOB=\frac{0.8R}{R}=0.8$，可得：$\angle AOB=53°$，故：$i=37°$，在$\triangle AOC$中，$OA=R$，$OC=2R$，$AC=\sqrt{(AB+2R)^2+(OB)^2}=\sqrt{(2.8R)^2+(0.6R)^2}=\sqrt{8.2}R$，由正弦定理：$\frac{\sin\angle AOC}{AC}=\frac{\sin r}{OC}$，即$\frac{\sin 143°}{\sqrt{8.2}R}=\frac{\sin r}{2R}$，由折射定律：$n=\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin 37°}{\sin r}=\frac{\sin 143°}{\sin r}=\frac{\sqrt{8.2}R}{2R}=\frac{\sqrt{205}}{10}$。

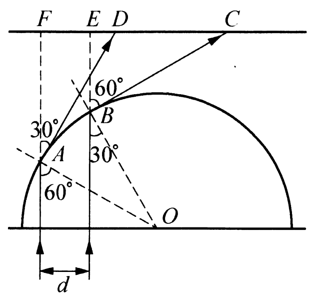


第7题答图

8. (1) $\frac{\sqrt{3}-1}{2}R$ (2) $\frac{2\sqrt{3}R}{3c}$

解析 (1) 由$\sin c=\frac{1}{n}$得，透明介质对a光和b光的临界角分别为60°和30°，画出光路如答图所示，A、B为两单色光在透明半球面的出射点，折射光线在光屏上形成光点D和C，AD、BC沿切线方向。由几何关系得：$d=R\sin 60°-R\sin 30°=\frac{\sqrt{3}-1}{2}R$。

(2) a光在透明介质中：$v_1=\frac{c}{n_1}=\frac{\sqrt{3}}{2}c$，传播时间：$t_1=\frac{R\cos 60°}{v_1}=\frac{\sqrt{3}R}{3c}$，在真空中：$AD=\frac{L-R\cos 60°}{\cos 30°}R=R$，故：$t_1'=\frac{AD}{c}=\frac{R}{c}$，则：$t_a=t_1+t_1'=\frac{(\sqrt{3}+3)R}{3c}$；$b$光在透明介质中：$v_2=\frac{c}{n_2}=\frac{c}{2}$，传播时间：$t_2=\frac{R\cos 30°}{v_2}=\frac{\sqrt{3}R}{c}$，在真空中：$BC=\frac{L-R\cos 60°}{\cos 60°}R=R$，$t_2'=\frac{R}{c}$，则：$t_b=t_2+t_2'=\frac{(\sqrt{3}+1)R}{c}$。所以：$\Delta t=t_b-t_a=\frac{2\sqrt{3}R}{3c}$。

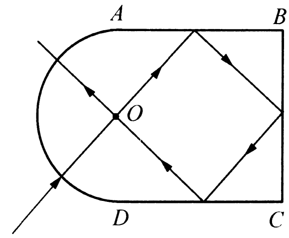


第8题答图

9. (1) $n=\sqrt{2}$ (2) $t=\frac{8R+2\sqrt{2}R}{c}$

解析 (1) 恰好不能从 AB 面射出，则临界角 $C=45°$，$n=\frac{1}{\sin C}=\sqrt{2}$。

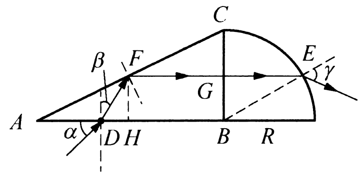
(2) 玻璃砖内光路如答图所示，光束在玻璃砖内的光程为：$s=4\sqrt{2}R+2R$，此束光在玻璃砖内速度：$v=\frac{c}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}c$，则光在玻璃砖内的时间为：$t=\frac{s}{v}=\frac{8R+2\sqrt{2}R}{c}$。



第 9 题答图

10. (1) $\gamma=45°$ (2) $t=\frac{4\sqrt{6}R}{3c}$

解析 (1) 光线在三棱柱和$\frac{1}{4}$圆柱中的光路图如答图所示。由几何关系可知：$\beta=30°$，故由折射定律可得该玻璃对该单色光的折射率为：$n=\frac{\sin(90°-\alpha)}{\sin\beta}$，解得：$n=\sqrt{2}$。由几何关系可知：$\overline{DF}=\overline{AD}=\frac{\sqrt{3}}{3}R$，$\overline{FH}=\overline{GB}=\overline{DF}\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}R\cos 30°=\frac{1}{2}R$，故在 $\triangle GEB$ 中，由几何关系可得 $\angle GEB=30°$，又因为 $n=\sqrt{2}$，故：$\sin\gamma=n\sin\angle GEB=\frac{\sqrt{2}}{2}$，即 $\gamma=45°$。

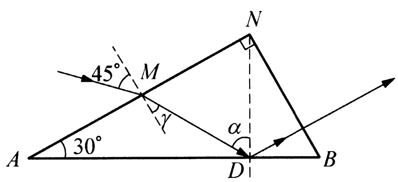


第 10 题答图

(2) 由几何关系可知：$\overline{DF}=\frac{\sqrt{3}}{3}R$，$\overline{FG}=\overline{GE}=\frac{\sqrt{3}}{2}R$，故光在玻璃中的传播路程为：$s=\overline{DF}+\overline{FG}+\overline{GE}$，即：$s=\frac{4\sqrt{3}}{3}R$，光在该玻璃中的传播速度为：$v=\frac{c}{n}$，故光在玻璃中传播的时间为：$t=\frac{s}{v}$，解得：$t=\frac{4\sqrt{6}R}{3c}$。

11. (1) 能 (2) $x=\frac{L}{8}$

解析 (1) 作出光路图如答图所示。由折射定律可知：$\frac{\sin 45°}{\sin\gamma}=\sqrt{2}$，所以：$\sin\gamma=\frac{1}{2}$，$\gamma=30°$。由几何关系可知：$\alpha=60°$，而全反射临界角的正弦值：$\sin C=\frac{1}{n}=\frac{1}{\sqrt{2}}$，故 $C=45°$，因为 $\alpha>C$，所以光线能在 AB 边发生全反射。

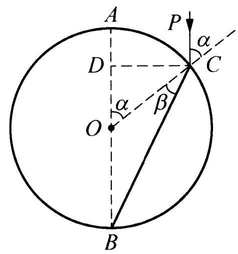


第 11 题答图

(2) 根据光路可知，光线垂直 BN 边射出，可得：$\overline{AN}=L\cos 30°$，$\overline{AD}=2\cdot\frac{\overline{AN}}{2}\cos 30°$，由答图可知：$BD=L-AD$，所以光线从棱镜中的出射点到 B 点的距离为：$x=\overline{BD}\sin 30°=\frac{L}{8}$。

12. (1) $\frac{\sqrt{3}}{2}R$ (2) $\frac{3R}{c}$

解析 (1) 设光线经 C 点折射后如答图所示。根据折射定律可得：$n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{3}$，在 $\triangle OBC$ 中：$\frac{\sin\beta}{R}=\frac{\sin\alpha}{2R\cos\beta}$，解得：$\alpha=60°$，$\beta=30°$，所以入射光线到 AB 的距离为：$s_{CD}=R\sin\alpha=\frac{\sqrt{3}}{2}R$。



第 12 题答图

(2) 在$\triangle DBC$ 中：C、B 间的距离为：$s_{CB}=2R\cos\beta=\sqrt{3}R$，设光在介质中传播速度

v,由 $n=\frac{c}{v}$,得:$v=\frac{c}{n}$,入射光线在圆柱体中运动的时间为:$t=\frac{s_{CB}}{v}=\frac{\sqrt{3}R}{\frac{c}{\sqrt{3}}}=\frac{3R}{c}$。

13. (1) 0.27 m (2) 0.1 m

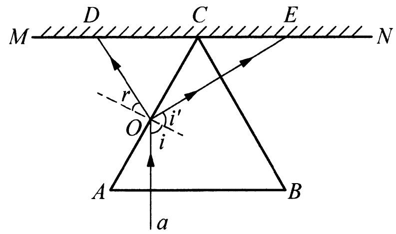
解析 (1) 光点若为反射光线形成的,光点距离 N 点的距离:$x_1=R\tan 60°=\frac{\sqrt{3}}{10}$ m,彩色光带最下端为折射率最小的光线,由 $n_1=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta}$,得:$\theta_2=45°$,则最下端距 N 点的距离:$x_2=R\tan 45°=\frac{1}{10}$ m,屏幕上光点到彩色光带最下端的距离 $x=x_1+x_2=\frac{1+\sqrt{3}}{10}$ m $=0.27$ m。

(2) 由题意可得,当折射率为$\sqrt{2}$、临界角为 45°的光线恰好发生全反射时,彩色光带完全消失,此时光点距离 N 点的距离 $x_3=R\tan 45°=0.1$ m。

14. (1) 如答图所示 (2) 40 cm

解析 (1) 画出光路图如答图所示。

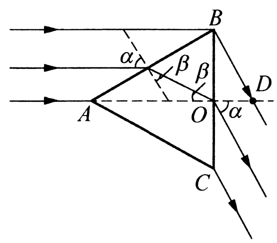
(2) 在界面 AC,a 光的入射角:$i=60°$。由光的折射定律有:$n=\frac{\sin i}{\sin r}$,代入数据求得折射角 $r=30°$,由光的反射定律得反射角为:$i'=i=60°$。由几何关系易得 $\triangle ODC$ 是边长为 $0.5l$ 的正三角形,$\triangle COE$ 为等腰三角形,$CE=OC=0.5l$。故两光斑之间的距离 $L=DC+CE=l=40$ cm。



第 14 题答图

15. (1) $\sqrt{3}$ (2) $d>\frac{\sqrt{3}}{6}a$

解析 (1) 由于对称性,先只考虑从 AB 面入射的光线,这些光线在棱镜中平行于 AC 面,如答图所示。由几何关系可得,光线进入 AB 面时的入射角为 $\alpha=60°$,折射角为 $\beta=30°$,根据折射定律,该棱镜材料对此平行光束的折射率为:$n=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\sqrt{3}$。



第 15 题答图

(2) O 为 BC 中点,在 B 点附近折射的光线从 BC 射出后与直线 AO 交于 D,可看出只要光屏放得比 D 点远,光斑就会分成两块。由几何关系可得:$OD=\frac{a}{\cos 30°}-a\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{6}a$,所以当光屏到 BC 距离为 $d>\frac{\sqrt{3}}{6}a$ 时,光斑分为两块。

提供各种书籍的 PDF 电子版代找服务，如果您找不到您想要的书的 PDF 电子版，我们可以帮您找到，如有需要，请联系微信、QQ。

PDF 代找说明：

本公司可以帮助您找到您想要的 *PDF* 电子书。质量都很清晰，只要您提供给我们相关信息，一般都能找到，如果您有需求，请联系我们。

现已经帮助了很多人找到了大家需要的 *PDF*，其实网上有很多 *PDF*，大家如果在网上找不到的话，可以联系我们，大部分我们都可以找到。因 *PDF* 电子书都有版权，请不要随意传播，如果您有经济购买能力，请尽量购买正版。

声明：

本公司只提供代找服务，因寻找 *PDF* 电子书有一定难度，仅收取代找费用。如因 *PDF* 产生的版权纠纷，与本公司无关，我们仅仅只是帮助您寻找到您要的 *PDF* 而已。